



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURA RAERINNE
PAALUTUKSEN VAIKUTUKSET POHJAVETEEN

Kandidaatintyö

Tarkastajat: Minna Leppänen, Juho
Mansikkamäki

TIIVISTELMÄ

LAURA RAERINNE: Paalutuksen vaikutukset pohjaveteen

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 59 sivua, 9 liitesivua

Kesäkuu 2017

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Yhdyskuntatekniikka

Tarkastajat: yliopisto-opettaja Minna Leppänen, TkT Juho Mansikkamäki

Avainsanat: kandidaatintyö, paalutus, pohjavesi

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää, minkälaisia vaikutuksia paalutuksella voi olla pohjaveden määrään ja laatuun. Tässä työssä käsitellään aiheesta tehtyjä tutkimuksia sekä Suomen rakentamista koskevien ohjeiden ja normien että Ison-Britannian Environment Agency:n paalutuksen ympäristöriskejä koskevan ohjeistuksen avulla. Osana työtä tehtiin kysely Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten ja Suomen ympäristökeskuksen pohjavesiasiantuntijoille. Kyselyllä selvitettiin millaisia riskejä pohjavesiasiantuntijat liittävät pohjavesialueella rakentamiseen ja millaisia vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään rakentamisella, erityisesti paalutuksella, voi olla. Tutkimustulosten ja kyselyn vastausten perusteella voidaan todeta, että paalutukseen pohjavesialueella sisältyy tiettyjä riskejä, jotka tulee ottaa tarpeen mukaan huomioon. Lisätutkimuksia ja lisätietoa aiheesta kuitenkin tarvitaan, sillä tietämättömyys voi johtaa liian suuriin varotoimenpiteisiin tai turhaan riskinottoon.

Paalutusta koskevassa kappaleessa selvitetään paalutukseen liittyviä käsitteitä ja termejä, painottaen niitä seikkoja, joilla on vaikutusta tutkimustulosten tulokannan kannalta. Pohjaveden muodostumiseen, esiintymiseen, virtaukseen ja suojelutarpeeseen liittyviä asioita käsitellään pohjavettä koskevassa kappaleessa.

Aiheesta julkaistuja tutkimustuloksia tarkastellaan kappaleessa 4. Käsiteltyjen tutkimusten perusteella merkittävimmät paalutuksen aiheuttamat riskit liittyvät paaluttamiseen kerroksellisessa maaperässä ja paineellisen pohjaveden alueella. Kerroksellisessa maaperässä paalutus voi sekoittaa maaperän kerrosjärjestystä ja paalutuksen seurauksena voi muodostua vettä paremmin johtava reitti huonosti vettä johtavan maakerroksen, kuten savikerroksen, läpi. Tutkimusten perusteella tämä voi muodostaa reitin esimerkiksi haitta-aineiden kulkeutumiselle, jos paalutustöitä tehdään pilaantuneella maaperällä. Lisäksi pilaantunutta maa-ainesta voi kulkeutua paalun mukana alempiin maakerroksiin. Tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että usein paalutyypin oikealla valinnalla voidaan minimoida mahdollisuus haitta-aineiden kulkeutumiseen. Myös paalumateriaalilla voi olla vaikutusta pohjaveden laatuun, mutta koska paalutustöitä tehdään yleensä huonosti vettä johtavassa maaperässä, mahdolliset pohjaveden laadun muutokset jäävät usein paikallisiksi. Paalutuksen vaikutuksia paineellisen pohjaveden alueella tarkastellaan case-esimerkin avulla.

Kyselytulosten perusteella voidaan todeta, että Suomessa on kiinnostusta rakentaa pohjavesialueille. Vastaajat tunnistavat monenlaisia riskejä liittyen rakentamiseen ja paalutustöihin pohjavesialueilla. Kyselyn tulosten perusteella lisätietoa erityisesti paalutuksen vaikutuksista pohjaveden laatuun ja määrään tarvitaan. Lisäksi nykyistä ohjeistusta koskien rakentamista pohjavesialueilla ei pidetä täysin riittävänä.

ABSTRACT

LAURA RAERINNE: Ground water effects of piling

Tampere University of Technology

Bachelor's Thesis, 59 pages, 9 Appendix pages

April 2018

Degree Programme in Civil Engineering

Major: Municipal Technology

Examiners: university teacher Minna Leppänen, D. Sc. (Tech) Juho Mansikkamäki

Keywords: bachelor's thesis, pile driving, ground water

ALKUSANAT

Alkuun on mainittava, että olin todella kiinnostunut juuri tästä aiheesta kandidaatintyötäni varten. Perustelen mielipidettäni sillä, että änkytän jonkin verran ja etenkin P-kirjain on minulle usein hankala sanoa. Niinpä aiheen ollessa ”Paalutuksen vaikutukset pohjaveteen”, on P-kirjainta tullut muutaman kerran toistettua. Kuulijat ovat onneksi olleet kärsivällisiä.

Kandidaatintyöni on tehty Ramboll Finland Oy:n antamasta aiheesta ja haluan kiittää ohjaajaani Juho Mansikkamäkeä selventävistä kommenteista minua askarruttaneisiin asioihin. Toiselle ohjaajalleni Minna Leppäselle kuuluu suuri kiitos siitä, että hän on antanut minulle tilaa tehdä kandidaatintyötäni omalla tavallani, mutta silti ollut taustalla vaikuttamassa ja tukemassa sekä auttanut minua erityisesti kyselytutkimuksen tekemisessä ja lopullisen kieliäsen hiomisessa.

Lopuksi haluan vielä kiittää lapsiani, jotka ovat antaneet minun kirjoittaa tätä työtä iltaisin ja viikonloppuisin. He puhuvat nykyään sujuvasti pohjavedestä ja paalutuksesta, mutta luulen että olemme kaikki onnellisia kun puheenaiheet voivat vaihtua ainakin hetkeksi toisiksi.

Tampereella, 29.04.2018

Laura Raerinne

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	PAALUTUS.....	3
2.1	Maata syrjäyttävät paalut	4
2.2	Maata syrjäyttämättömät paalut	9
3.	POHJAVESI	11
3.1	Pohjaveden muodostuminen	11
3.2	Pohjavesivirtaus	16
3.3	Pohjaveden esiintyminen.....	17
3.4	Pohjaveden määrän ja laadun muutosten seurauksia	20
3.5	Pohjavesialueiden suojelu	21
4.	PAALUTUKSEN VAIKUTUKSIA POHJAVETEEN	25
4.1	Ohjeistuksissa mainitut vaikutukset.....	25
4.2	Maakerrosten sekoittuminen paalutuksen seurauksena.....	26
4.2.1	Maan siirtymät ja muodonmuutokset.....	27
4.2.2	Vettä huonosti johtavan maakerroksen vedenläpäisevyyden muutokset	32
4.3	Haitta-aineiden pääsy pohjaveteen paalutuksen seurauksena	34
4.3.1	Pilaantuneen maa-aineksen kulkeutuminen pohjaveteen.....	35
4.3.2	Virtausreitin muodostuminen paalutuksen seurauksena.....	36
4.4	Paalujen materiaalien mahdolliset vaikutukset pohjaveden laatuun	38
4.5	Paalutuksen mahdolliset seuraukset paineellisen pohjaveden alueella	41
4.6	Yhteenveto paalutuksen vaikutuksista pohjaveteen.....	42
5.	KYSELYTUTKIMUS	45
5.1	Kyselytutkimuksen toteutus	45
5.2	Vastaajien työkuva koskien rakentamista pohjavesialueella	46
5.3	Vastaajien vastuualueella olevat pohjavesialueet	47
5.4	Rakentaminen pohjavesialueilla.....	49
5.5	Rakentamiseen liittyvät riskit pohjavesialueella	50
5.6	Paalutukseen liittyvät riskit pohjavesialueella	52
5.7	Pohjavesialueilla rakentamiseen liittyvän ohjeistuksen riittävyys	54
5.8	Yhteenveto kyselyn tuloksista.....	55
6.	YHTEENVETO	57

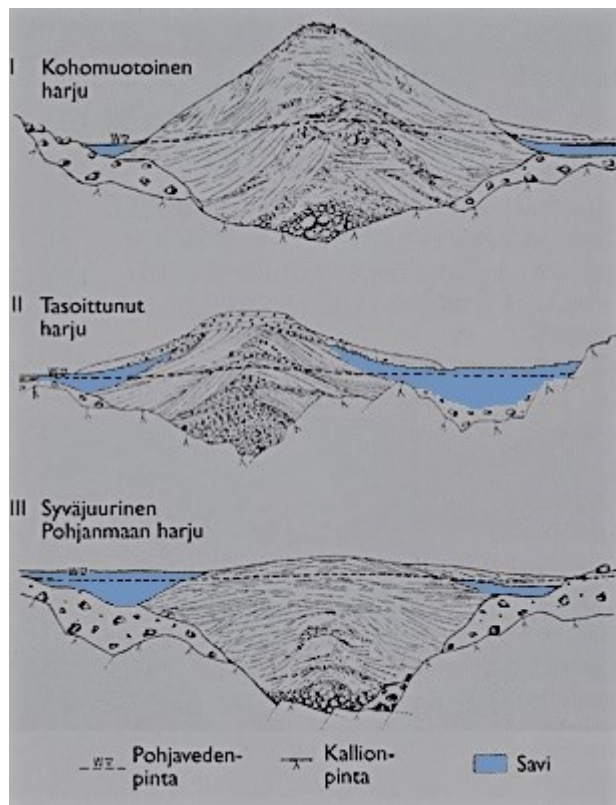
LIITE A: KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CFA-paalu	Continuous flighting auger-paalu
DNAPL	Dense Non-Aqueous Phase Liquid
EA	The Environment Agency (Iso-Britannia)
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus
H-paalu	Paalu, jonka poikkileikkaus on H-kirjaimen muotoinen
LNAPL	Light Non-Aqueous Phase Liquid
LPO-2005	Lyöntipaalutusohje 2005
NaCl	Natriumkloridi
PCB-yhdisteet	Polyklooratut bifenyylilyhdisteet
PO-2011	Paalutusohje 2011
S-P-R-linkage	<i>source-pathway-receptor</i> -linkage (lähde-reitti-vastaanottaja-yhteys)
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto
SYKE	Suomen ympäristökeskus

1. JOHDANTO

Suomessa on noin 3800 vedenhankinnan kannalta tärkeää pohjavesialuetta (SYKE 2017a). Vedenoton kannalta parhaat pohjavesimuodostumat sijaitsevat hiekka- ja sora-
muodostumissa (Mälkki 1999, s. 66). Hiekka ja sora ovat yleensä kantavuudeltaan hyviä rakennuspohjia (Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 43), mutta joissakin tilanteissa pohjavesialueella tai sen läheisyydessä olevan rakennuspaikan maaperäolosuhteet voivat olla sellaiset, että paalutus on yksi mahdollinen perustamisvaihtoehto. Esimerkiksi harjuesiintymien lievealueilla on usein savikerroksia, kuten kuvasta 1 voidaan nähdä (Mälkki 1999, s. 66).



Kuva 1. Harjuesiintymien lievealueilla on usein savikerroksia. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 56)

Yhdyskuntien täydennysrakentamisen myötä rakentaminen huonommille maapohjille on lisääntynyt ja lisääntyy edelleen. Joissakin tapauksissa rakennuksia voi olla tarpeen perustaa paaluille myös pohjavesialueilla tai niiden läheisyydessä.

Pohjavettä suojelee pohjaveden pilaamiskielto (YSL 2014/527, 17 §). Mahdolliset paalutustyöt tai muut rakennustyöt eivät saa aiheuttaa riskiä pohjaveden laadulle tai määrälle.

Tässä työssä tarkastellaan paalutuksen mahdollisia vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään. Mahdollisten vaikutusten laatu ja laajuus riippuvat paalutuspaikan maaperä- ja pohjavesialueolosuhteista sekä käytettävästä paalutyypistä ja paalutusmenetelmästä (PO-2011, s. 254). Paalutyypeistä keskitytään lähinnä lyöntipaalujen vaikutuksiin, mutta myös maata syrjäyttämättömien paalujen vaikutuksia käsitellään.

Paalutuksen mahdollisia vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään tarkastellaan kirjallisuusselvityksenä. Tutkimuksia aiheesta on julkaistu melko vähän ja niistäkin valtaosa liittyy paalutustöiden vaikutuksiin pilaantuneessa maaperässä. Tämän lisäksi osana työtä esitellään ELY-keskusten ja Suomen ympäristökeskuksen pohjavesiasioihin erikoistuneille asiantuntijoille tehdyn kyselyn tulokset. Kyselyllä kartoitettiin asiantuntijoiden mielipiteitä siitä, minkälaisia vaikutuksia rakentamisella pohjavesialueella voi olla ja erityisesti sitä, miten heidän kokemuksensa mukaan paalutustyöt voivat vaikuttaa pohjaveden laatuun tai määrään.

2. PAALUTUS

Perustukset ovat pysyviä pohjarakenteita, jotka välittävät rakennuksen tai rakenteen kuormat maa- tai kalliopohjalle. Perustuksilla tulee saavuttaa riittävä geotekninen kantavuus, jotta maaperä ei murru ja maaperän painumat pysyvät sallituissa rajoissa. Useimmiten rakennukset perustetaan maan tai kallion varaan. Maaperän painumat, siirtymät, ympäristössä olevien rakennusten sijainti tai niiden perustustavat voivat estää maanvaraisen perustuksen käytön ja tällöin käytetään paaluperustuksia. (Jääskeläinen 2009, s. 9, 53) Paalut toimivat rakenteina, jotka siirtävät kuormittavia voimia maahan tai kallioon, jotta saavutetaan riittävä geotekninen kantavuus (PO-2011, s. 15). Paaluja voidaan tarpeen mukaan injektoida kantavuuden parantamiseksi. Tällöin nestemäistä, kovettuvaa seosta, kuten injektointilaastia, laastia tai juotosbetonia, syötetään maan ja rakenteen väliin. Injektointiaineen avulla siirretään kuormia paalun varresta maaperään sekä suojataan paalua korroosiolta. (PO-2011, s. 17)

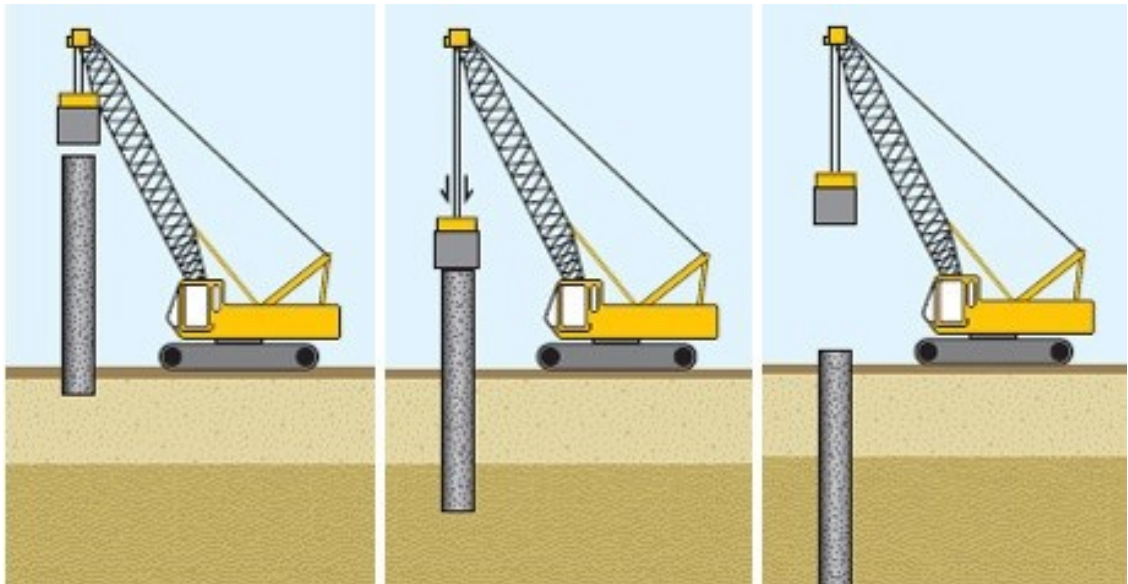
Paalujen käyttö on yleistynyt jatkuvasti, koska kaupunkien ja muiden kasvukeskusten rakennuskantaa tiivistettäessä rakennetaan nyt myös niille heikkopohjaisille alueille, jotka aiemmin ovat jääneet huonon pohjamaansa vuoksi rakentamatta. Paalujen kehitystyön tuloksena on siirrytty puupaaluista teräsbetoni- ja teräspaaluihin. Lisäksi henkilökustannusten nousu, paaluteollisuuden kehitys ja paalutustöiden nopeus ovat johtaneet siihen, että paalutusta käytetään perustusratkaisuna myös niissäkin kohteissa, joissa myös toisenlaiset perustamisvaihtoehdot voisivat olla mahdollisia. (Jääskeläinen 2009, s. 52)

Paalut voidaan luokitella monella eri tavoin: materiaalin perusteella esimerkiksi puu-, betoni-, teräs- ja teräsbetonipaaluihin tai asennustavan mukaan esimerkiksi lyönti- ja porapaaluihin. Luokittelu voi tapahtua myös paalujen toimintatavan perusteella tuki-, kitka ja koheesiopaaluihin. Eurooppalaisen toteutusstandardin mukaan paalut luokitellaan kahteen pääryhmään sen mukaan, syrjäyttääkö paalu asennuksen aikana maata, eli maata syrjäyttäviin paaluihin (SFS-EN 12699 2015) ja maata syrjäyttämättömiin paaluihin (SFS-EN 1536 2015). Pienpaaluille on oma toteutusstandardinsa (SFS-EN 14199 2015), mutta tässä selvityksessä ei käsitellä pienpaaluja. Paalutyypin valintaan vaikuttavat ensisijaisesti rakennuspaikan pohjasuhteet sekä yläpuolisten rakenteiden asettamat vaatimukset (LPO-2005, s. 42).

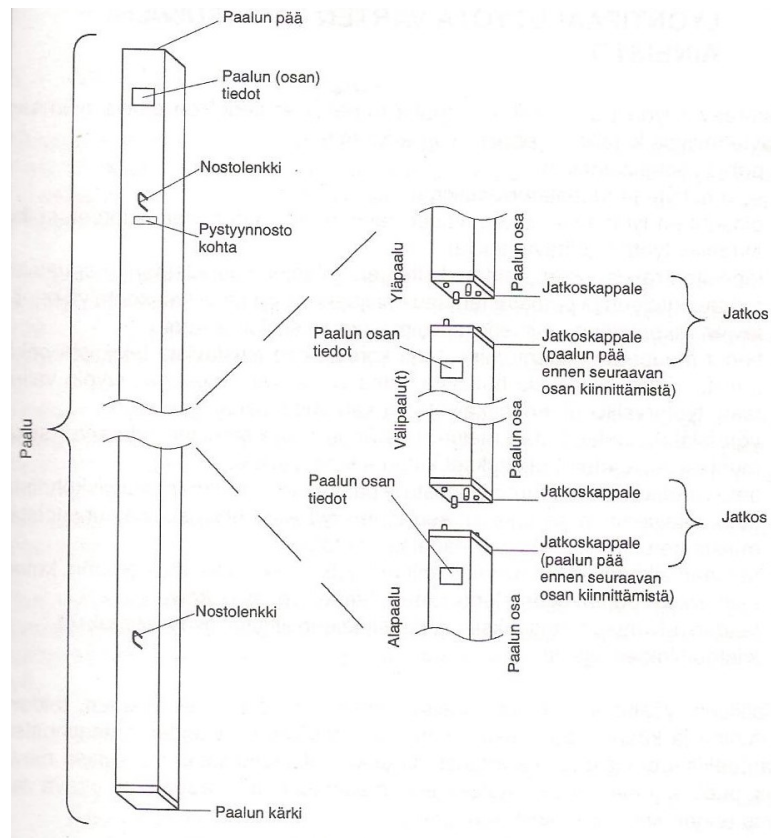
2.1 Maata syrjäyttävät paalut

Maata syrjäyttävien paalujen asennus tehdään kaivamatta tai poistamatta maasta materiaalia paalun tieltä, lukuun ottamatta vaikeasti läpäistäviä esteitä, kuten kiviä tai lohka-reita. Maata syrjäyttävät paalut voidaan asentaa maahan lyömällä, täryttämällä, puristamalla, ruuvaamalla tai edellä mainittujen menetelmien yhdistelmillä. Paalujen materiaali voi olla terästä, betonia, puuta tai edellisten materiaalien yhdistelmiä. (PO-2011, s. 15–16) Suomessa yleisimmin käytettyjä maata syrjäyttäviä paalutyyppejä ovat teräsbetoniset lyöntipaalu, lyötävät tai puristettavat pienpaalut, lyötävät suuriläpimittaiset teräsputkipaalut, puupaalut sekä lyötävät avoimet paalut (PO-2011, s. 135).

Lyöntipaalu on tyypillinen maata syrjäyttävä paalu. Se asennetaan maahan iskevän laitteen, kuten järkäleen, avulla (PO-2011, s. 18). Lyöntipaalun asennuksen periaate on esitetty kuvassa 2 ja lyöntipaalun osat ja niiden nimitykset kuvassa 3. Tässä selvityksessä keskitytään lähinnä lyömällä asennettavien paalujen vaikutuksiin.

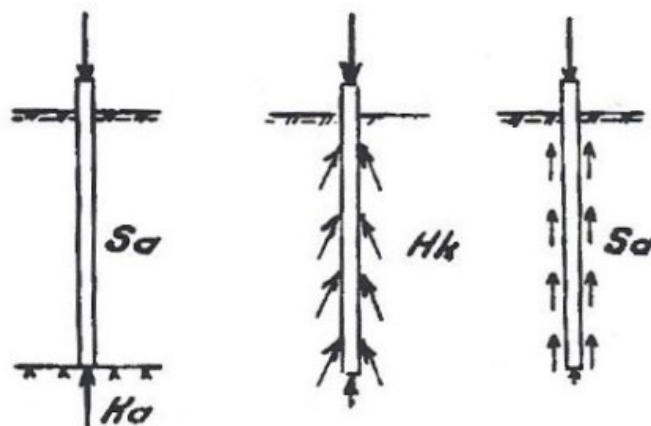


Kuva 2. Esimerkkikuva lyöntipaalun asennuksesta. (Saundi Foundations 2011)



Kuva 3. Lyöntipaalun osien nimitykset. (LPO-2005, s. 21)

Lyöntipaalut voidaan jakaa niiden toimintatavan perusteella tukipaaluihin, kitkapaaluihin ja koheesiopaaluihin (LPO-2005, s. 42). Kuvassa 4 on esitetty periaatteen tasolla näiden toimintatapa.



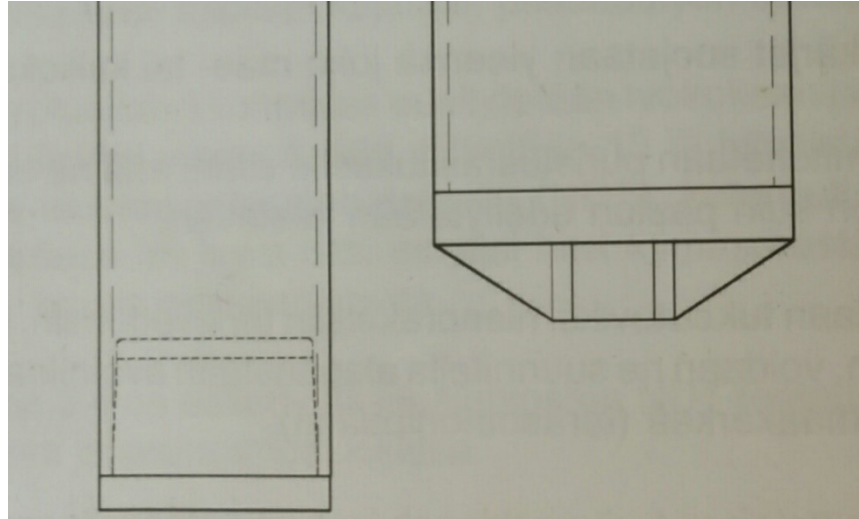
Kuva 4. Tukipaalun, kitkapaalun ja koheesiopaalun toimintaperiaatteet. (Jääskeläinen 2009, s. 53)

Paaluperustusten suunnittelussa on ensisijaisesti selvitettävä tukipaalujen käyttömahdollisuus (LPO-2005, s. 42). Tukipaalu siirtää suurimman osan kuormasta kärkeänsä välityksellä joko kallioon tai kantavaan maakerrokseen (Jääskeläinen 2009, s. 53). Kitkapaalujen käyttö on mahdollinen vaihtoehto, jos kova pohja on syvällä löyhien kitkamaakerrosten, kuten karkearakeisen hiekan tai moreenin, alla (LPO-2005, s. 43; Jääskeläinen 2009, s. 54). Kitkamaalajien leikkauslujuus muodostuu lähinnä rakeiden välisestä kitkasta. Kitkapaalujen toiminta perustuu kuorman siirtymiseen kitkamaakerrokseen paalun vaippapinnalla vaikuttavan kitkan välityksellä eli paalu tukeutuu ympäröiviin maakerrokseen vaippapinnan ja maarakeiden välille muodostuvan kitkan avulla. (Jääskeläinen 2009, s. 53).

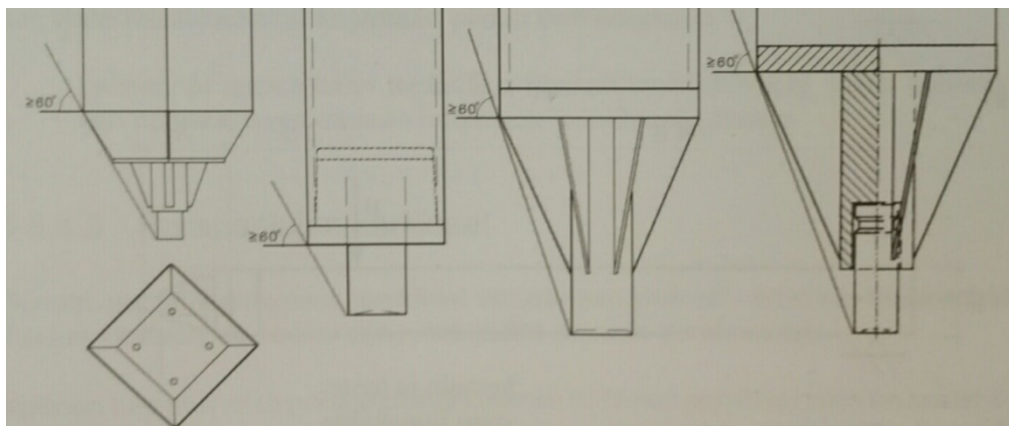
Koheesiomaalajeilla eli hienorakeisilla maalajeilla, kuten savella, lujuus muodostuu lähinnä rakeiden välisestä kiinnevoimista, koheesiosta. Koheesiopaalun kuorma siirtyy koheesiomaakerrokseen paalun vaippapinnan ja maalajin rakeiden väliin syntyvän voimien, adheesion, välityksellä. Adheesio on vetovoima, joka muodostuu kahden eri aineen välille. Koheesiopaaluilla saavutetaan yleensä riittävä varmuus maapohjan murtumista vastaan (Jääskeläinen 2009, s. 54), mutta koska koheesiopaalut kuormittavat kokoonpuristuvia maakerroksia, rakenne tavallisesti painuu huomattavasti (LPO-2005, s. 43). Koheesiopaaluja käytetäänkin yleensä vain työnaikaisissa ja lyhytaikaisissa perustuksissa, pysyviin rakenteisiin ne sopivat harvoin. (LPO-2005, s. 43; Jääskeläinen 2009, s. 54)

Lyöntipaalujen materiaalina käytetään usein teräsbetonia, mutta teräspaalujen käyttö on kasvanut erityisesti vaativissa kohteissa ja kehitystyön kautta myös pien- ja korjausrakentamisessa. Puupaalujen käyttö on vähentynyt, ja niitä käytetään enää vain kunnallistekniikassa ja tienrakennuksessa (Jääskeläinen 2009, s. 52). Viimeiset puupaaluille perustetut talot Helsingissä on rakennettu 1950-luvun puolivälissä, mutta tienrakennuksessa puupaalujen käyttö oli melko yleistä vielä 1970-luvulla (Juvankoski & Viitanen 1989, s. 12).

Lyötävien paalujen kärjet suojataan tarpeen mukaan maa- tai kalliokärjellä. Maakärki suojaa paalun alaosa asennuksen aikana. Kalliokärjet taas suojaavat paalun kärkeä kivien ja lohkareiden aiheuttamilta vaurioilta sekä voivat estää taivutusrasitusten syntymistä. (PO-2011, s. 162) Kuvissa 5 ja 6 näkyvät esimerkit maa- ja kalliokärjistä.

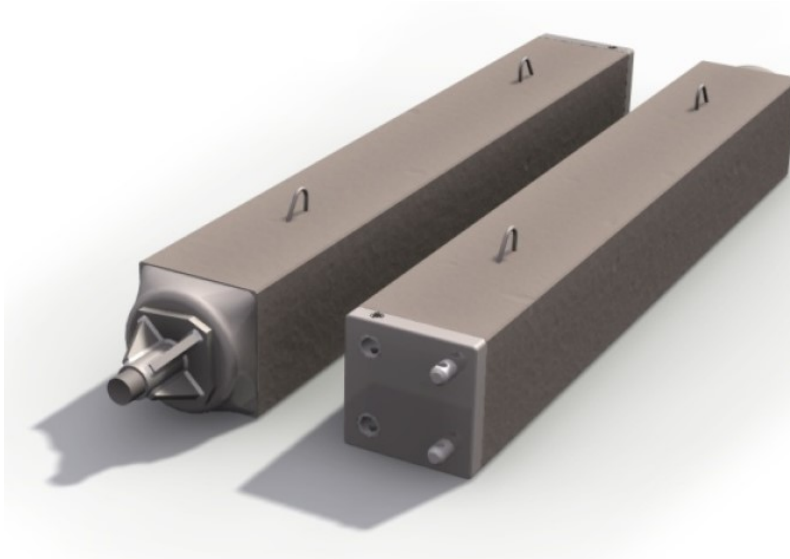


Kuva 5. Esimerkkejä lyöntipaaluun kiinnitettävistä maakärjistä. (PO-2011, s. 162)



Kuva 6. Esimerkkejä lyöntipaaluun kiinnitettävistä kalliokärjistä. (PO-2011, s. 163)

Suomessa yleisesti käytettävät teräsbetoniset lyöntipaalut ovat kooltaan 300x300 mm (Paalut 2017). Esimerkki teräsbetonisesta lyöntipaalusta on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. *Esimerkki jatkettavasta teräsbetonisesta lyöntipaalusta, jossa on kalliokärki. (Paalut 2017)*

Putkipaaluja käytetään esimerkiksi talonrakentamisessa ja silloissa ja ne voidaan asenta-
taa lyömällä tai poraamalla (Teräspuikipaalut 2017). Kuvassa 8 on esimerkki putkipaa-
luista.



Kuva 8. *Esimerkki putkipaaluista. (Teräspuikipaalut 2017)*

Suomessa käytetään H-paaluja vähän. Yleisintä käyttö on settiseinissä. Settiseiniä käy-
tetään työnaikaisten sekä pysyvien kaivantojen tukemiseen maan ollessa karkearakeista
tai moreenia (Rantanen et al. 2013). Esimerkki H-paaluista on kuvassa 9.

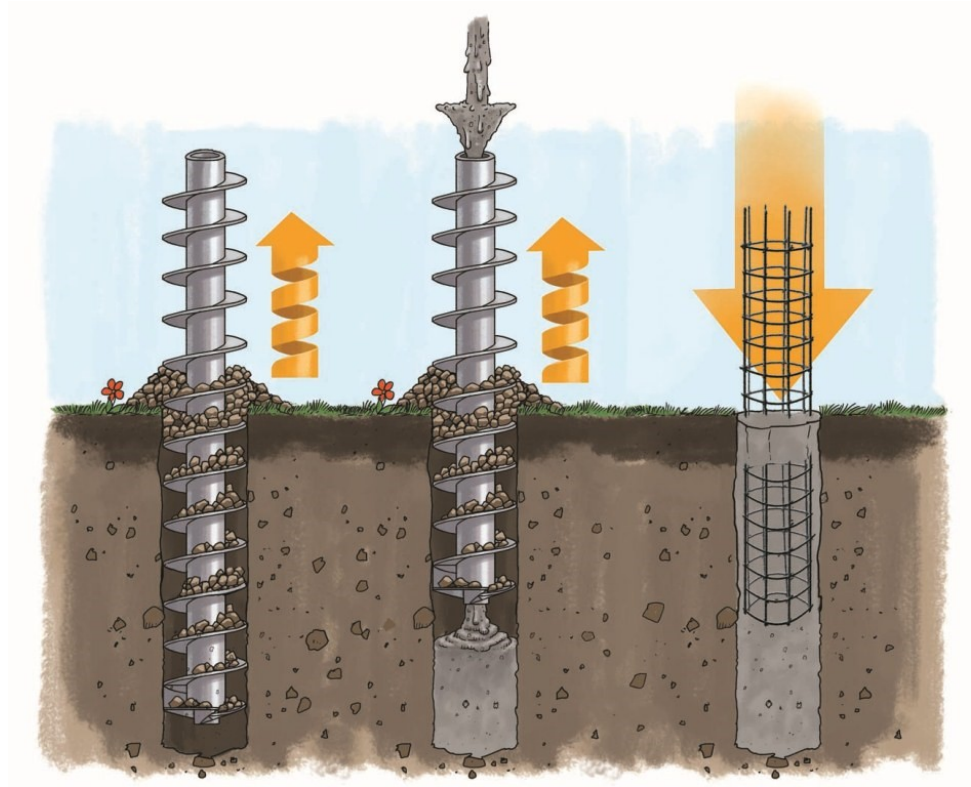


Kuva 9. Lyöntipaaluja, joiden poikkileikkaus on H-kirjaimen muotoinen.
(Pearson Drilling Inc 2017)

2.2 Maata syrjäyttämättömät paalut

Maata syrjäyttämättömät paalut asennetaan maahan joko kaivamalla tai poraamalla. Kaivettava paalu asennetaan maahan tehtyyn kaivantoon joko suojaputken avulla tai ilman, ja kaivanto täytetään raudoitetulla tai raudoittamattomalla betonilla. Kaivannon seinien tukemiseen käytetään tarvittaessa tukimenetelmiä, kuten bentoniittilietettä. Porapaalujen asennuksessa putkipaalu asennetaan maahan samaan aikaan kun reikää porataan, ja usein putki täytetään betonilla korroosion estämiseksi. (PO-2011, s. 16, 143)

Suomessa yleisimmin käytettyjä maata syrjäyttämättömiä paalutyypppejä ovat kaivinpaa-lut, porattavat pienpaalut, porattavat suuriläpimittaiset teräsputkipaalut ja CFA-paalut eli *continuous flighting auger*-paalut (PO-2011, s. 135). CFA-paalut ovat kaivettavia paaluja, jotka asennetaan pitkän augerruuvien avulla. Auger on kairamainen kaivutyökalu, jossa on kierteittäisiä leikkausteriä. CFA-paaluja asennettaessa augerruuvien läpi pumpataan tai ruiskutetaan betonia tai injektointiseosta samaan aikaan, kun augeria vedetään ylös. (PO-2011, s. 142–143) CFA-paalun halkaisijat vaihtelevat yleensä välillä 300-1200 mm. Esimerkki CFA-paalun asennuksesta on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Esimerkkikuva CFA-paalun asennuksesta. (Lemminkäinen 2017)

3. POHJAVESI

Maapallon vesivaroista 97,6 % sijaitsee valtamerissä. Vesivaroista on sitoutunut jäätikköihin noin 1,8 %, pohjavetenä on 0,53 % ja pintavetenä 0,007 %. Jos jäätiköitä ei oteta lukuun, pohjavesi on maapallon merkittävin makean veden varasto ja käsittää noin 98 % maapallon makeasta vedestä. (Mälkki 1999, s. 20)

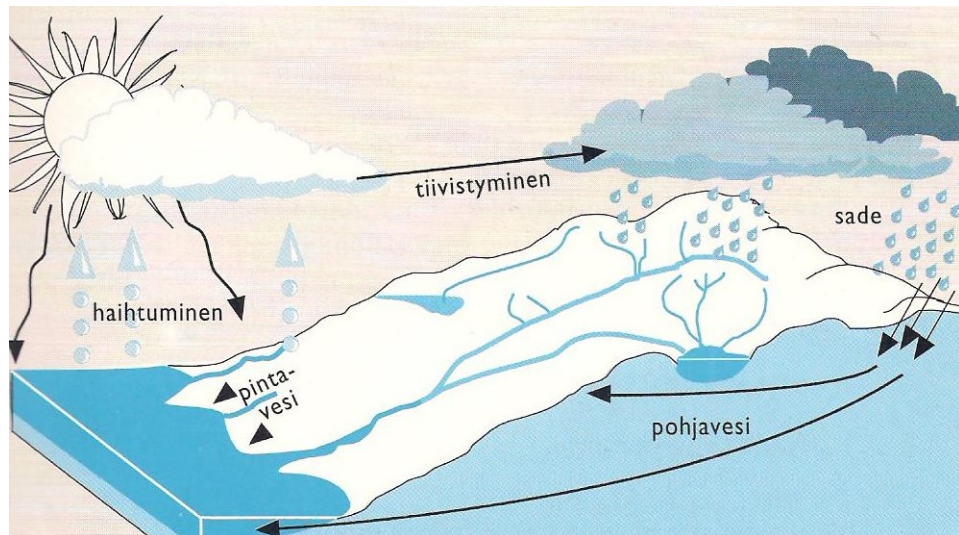
Ympäristönsuojelulaissa (YSL 2014/527) ja vesilaissa (VL 2011/587) pohjavesi määritellään maa- tai kallioperässä olevaksi vedeksi. Vesilaissa pohjavesiesiintymä määritellään kyllästyneeseen vyöhykkeeseen yhtenäisenä vesimassana varastoituneeksi pohjavedeksi. Ympäristönsuojelulaissa pohjavesiesiintymällä tarkoitetaan ”geologisin perustein rajattavissa olevaa aluetta, jolla sijaitseva maaperän muodostuma tai kallioperän vyöhyke mahdollistaa merkittävän pohjaveden virtauksen tai vedenoton”. (YSL 2014/527, 5 §; VL 2011/587, 3 §)

Jotta maahan imeytynyt vesi voi varastoitua maanalaisesti pohjavetenä, tulee geologiassa väliaineessa olla avointa tilaa. Pohjavesi on maakerrosten läpi kallioperän rakoihin asti kulkeutunutta vettä. (Mälkki 1999, s. 23; Niini et al. 2007, s. 4; Jääskeläinen 2011, s. 37) Eniten pohjaveden esiintymiseen vaikuttavat maaperäolosuhteet, kuten maaperän huokoisuus ja maaperän vedenjohtavuus (Salonen et al. 2002, s. 19).

Pohjavesialueita suojellaan, koska ne ovat tärkeä talousveden lähde. Nykyään pohjaveden osuus vesilaitosten toimittamasta talousvedestä on noin 61 %. Talousvettä käytetään kotitalouksissa juomavetenä ja ruuan valmistuksessa sekä elintarvikealan yrityksissä tuotteiden valmistamiseen. (Vesilaitosyhdistys 2017)

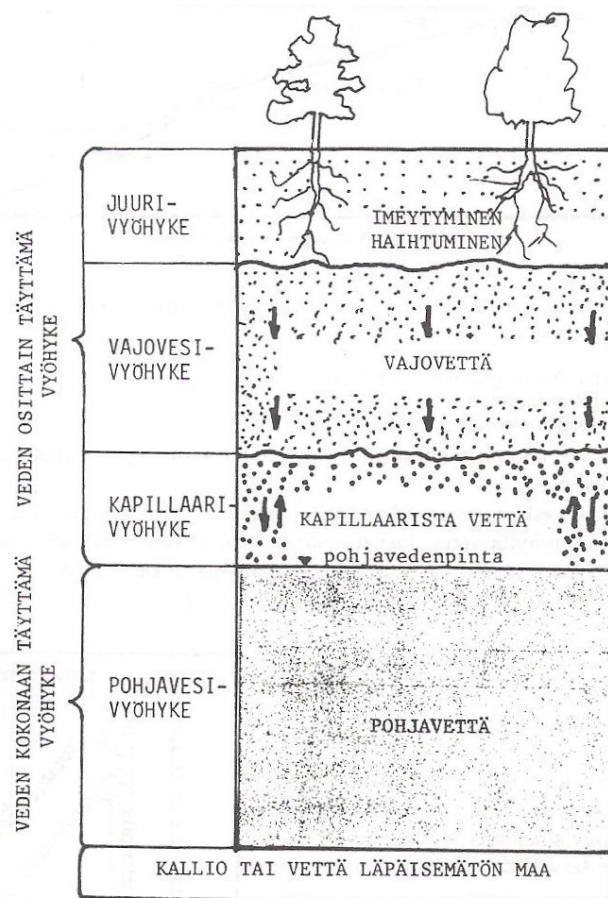
3.1 Pohjaveden muodostuminen

Pohjavettä muodostuu osana hydrologista kiertoa. Osa maahan satavasta vedestä tai lumien sulamisvesistä siirtyy pintavaluntana suoraan vesistöihin, osa haihtuu ja osa imeytyy maaperään. Hydrologinen kierto on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Pohjavesi on osa hydrologista kiertoa. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 19)

Maan kyllästysasteen, vedenpaineen, veden liikkuvuuden ja sitoutumisasteen perusteella maaperä jaetaan kosteusvyöhykkeisiin, jotka on esitetty kuvassa 12.

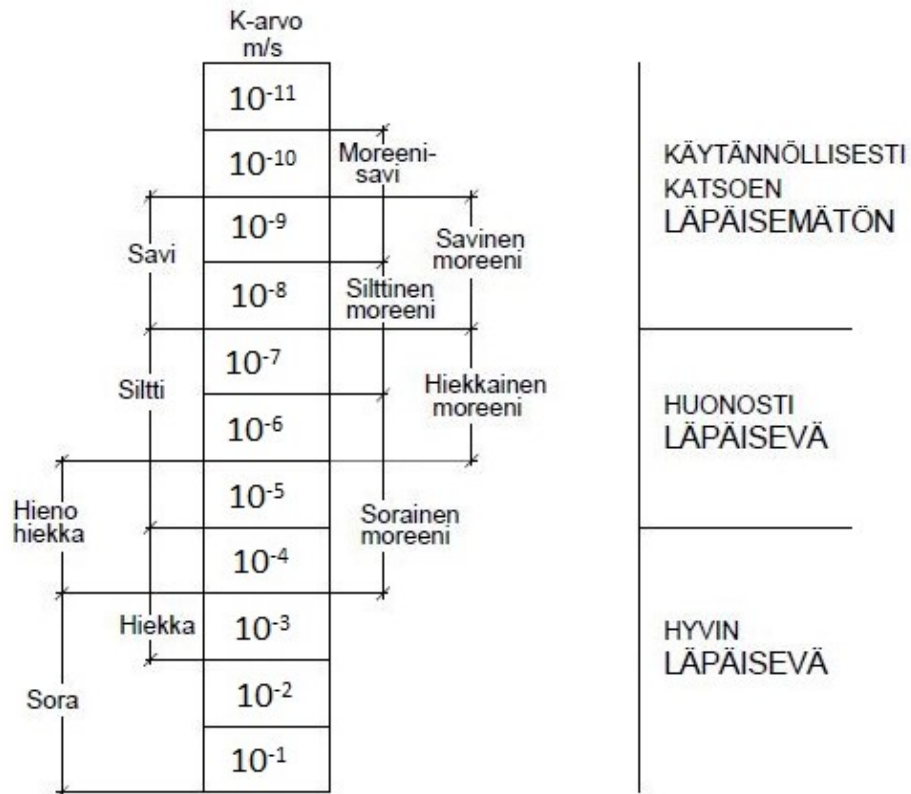


Kuva 12. Maaperän kosteusvyöhykkeet. (Rantamäki et al. 2008, s. 50)

Maavettä esiintyy maaperän osittain vedellä kyllästyneissä kerroksissa (Salonen et al. 2002, s. 88). Maavesikerros voidaan jakaa juurivyöhykkeeseen, välivyöhykkeeseen ja kapillaarivyöhykkeeseen. Kasvien juuret ulottuvat juurivyöhykkeeseen, jossa on vapaasti kasvien käytettävissä olevaa vettä. Juurivyöhykkeessä vesi liikkuu edestakaisin. Juurivyöhykkeen paksuus riippuu kasvillisuudesta sekä maalajista ja on tavallisesti alle metrin. Vajovesivyöhyke, jota nimitetään myös välivyöhykkeeksi, on juuri- ja kapillaarivyöhykkeen välinen maankosteusvyöhyke. Se voi paksuudeltaan olla jopa kymmeniä metrejä paksu tai puuttua kokonaan. Vajovesivyöhykkeessä juurivyöhykkeestä suotautuva vapaa vesi liikkuu vain alaspäin. Vajovesivyöhykkeessä, kuten juurivyöhykkeessäkin, esiintyy vapaan veden lisäksi vaippa- eli adsorptiovettä maarakeiden pinnoilla sekä kapillaarivettä. Kapillaarivyöhykkeen vesi on kapillaarivettä, jossa vesi on kiinnittynyt maarakeiden väliin kapillaarisesti pääasiassa pintajännityksen vaikutuksesta. Vyöhykkeen paksuus vastaa kerroksen maalajin kapillaarista nousukorkeutta, sillä vesi imeytyy vyöhykkeeseen alapuolella olevasta pohjavedestä kapillaarisesti. Esimerkiksi hienorakeisilla maalajeilla, kuten savella tai siltillä, kapillaarivyöhykkeen paksuus voi olla useita metrejä kun taas karkearakeisilla maalajeilla, kuten soralla, se voi puuttua lähes kokonaan. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 35–36; Rantamäki et al. 2008, s. 49–51)

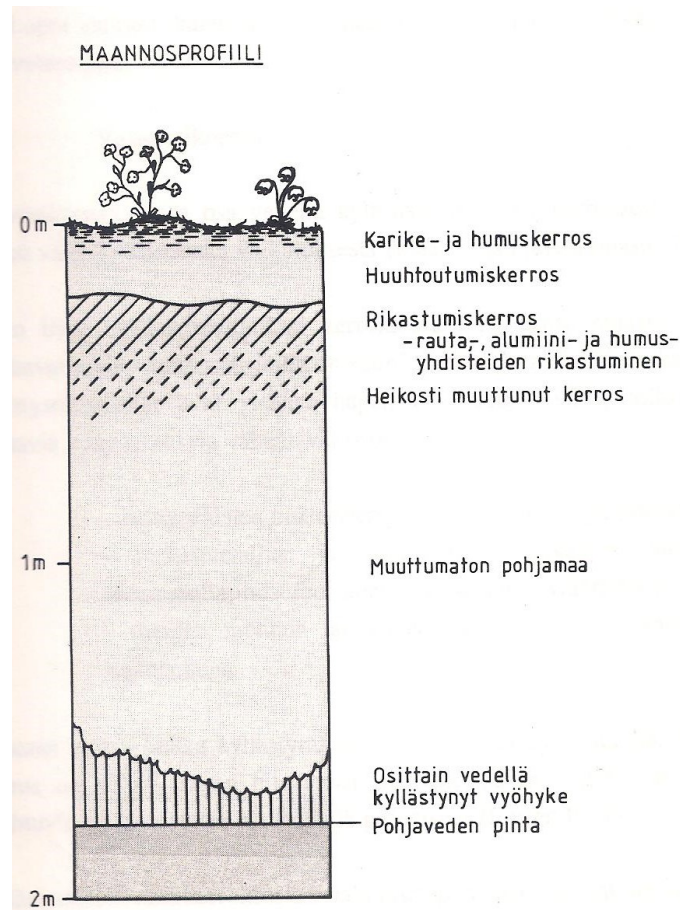
Geologisesti pohjavesivyöhykkeen määritellään alkavan täysin vedellä kyllästyneen kerroksen yläpinnasta ja päättyvän vettä läpäisemättömään kerrokseen (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 35–36). Maan huokoset ja kallion rakoilujärjestelmä muodostavat maa- ja kallioperään avoimen tilan, johon pohjavettä pääsee kerääntymään. (Salonen et al 2002, s. 88; Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 36) Vaikka Suomen peruskallio on kovaa ja näennäisesti huokosetonta, kallioperän pitkistä geologisesta historiasta johtuen on kallioperässä rakoilua ja pirstoutuneita siirrosvyöhykkeitä. Avoimet kallioperän raot täyttyvät vedellä. Suurissa halkeamissa tai siirrosvyöhykkeissä raot voivat ulottua jopa usean kilometrin syvyyteen, tavallisemmin kuitenkin korkeintaan noin 70–100 metrin syvyyteen. (Mälkki 1999, s. 54; Salonen et al. 2002, s. 129) Pohjaveden pinta seurailee pääpiirteissään maanpinnan muotoja ja yhtyy maanpintaan esimerkiksi vesistöissä, soilla ja lähteissä (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 36). Suomessa pohjavedenpinta on tavallisesti 2–4 metrin syvyydessä, mutta harjalueilla pohjavesivyöhyke voi sijaita vasta 30–50 metrin syvyydessä (Salonen et al. 2002, s. 124).

Pohjaveden muodostumiseen vaikuttavat sadannan ja haihdunnan lisäksi maaperän ominaisuudet (Salonen et al. 2002, s. 120). Tärkein yksittäinen parametri, jolla maalajin hydraulisia ominaisuuksia voidaan kuvata, on vedenjohtavuuskerroin eli vedenläpäisevyyskerroin (K). Vedenjohtavuus kuvaa nesteen virtausvastusta huokoisessa väliaineessa ja se riippuu muun muassa maaperän rakeisuudesta, huokoisuudesta sekä veden lämpötilasta. Vedenjohtavuusarvot voivat vaihdella samankin maalajin sisällä. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 43) Eri maalajeille tyypilliset K-arvot on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Eri maalajien vedenjohtavuusarvoja (K) ja arvio niiden vedenläpäisevyydestä. (Molarius 1993 s. 56, Hatva 1987 mukaan)

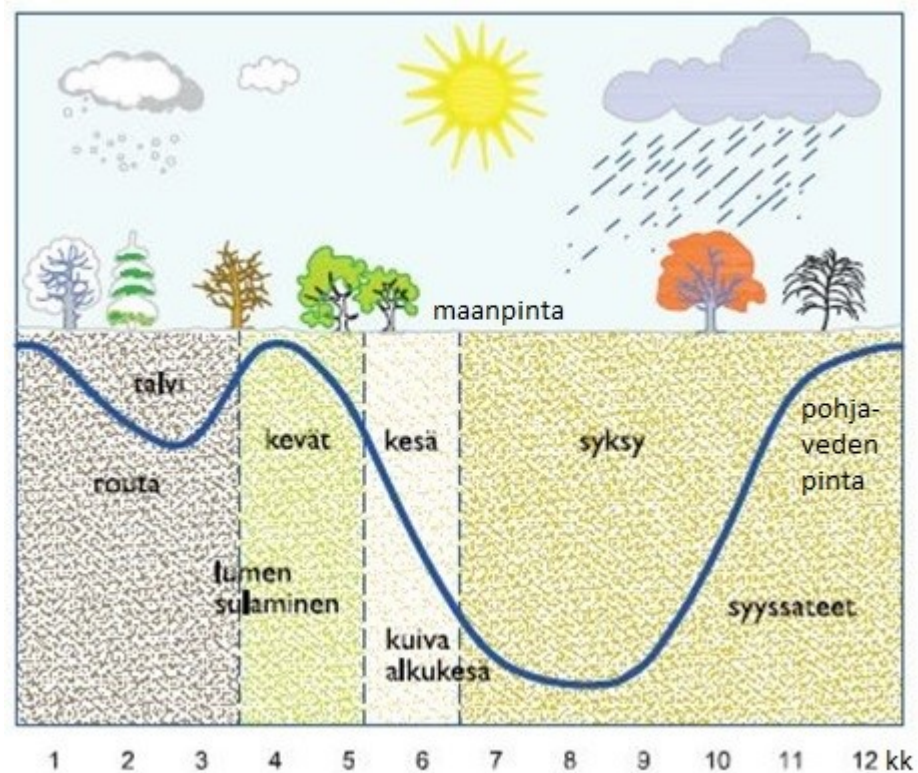
Pohjaveden laadun kannalta maanpinnan ylin osa, maannos, on tärkeä tekijä. Esimerkiksi jos maannoksen happitilanne on riittävä, alumiini, rauta ja mangaani hapettuvat ja saostuvat imeytyvästä vedestä kestävinä yhdisteinä maannoksen rikastumiskerrokseen eivätkä kulkeudu pohjaveteen saakka. Ihannetilanteessa maahan imeytyvä vesi muuttuu monien kemiallisten, biologisten ja fysikaalisten tekijöiden yhteisvaikutuksesta maavesivyöhykkeessä luontaisesti hyvälaatuiseksi pohjavedeksi. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 68) Kuvassa 14 on esitetty poikkileikkaus podsolimaannosprofiilista, jossa näkyy aiemmin mainittu rikastumiskerrokseen. Podsolimaannos on Suomen ilmastossa syntyvä maannostyyppi, joka kehittyy parhaiten sora- ja hiekkamailla (Molarius 1993, s. 57).



Kuva 14. Poikkileikkaus maannosprofilista. Pohjaveden ominaisuuksien kannalta maanpinnan ylin osa on tärkeässä roolissa. (Molarius 1993, s. 57)

Suomessa luonnontilaisissa sora- ja hiekkamuodostumissa oleva pohjavesi on yleensä hyvänlaatuista. Pohjaveden pH on keskimäärin 6,5, riippuen sen viipymästä maaperässä (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 80). Pohjavesi on yleensä runsashappista ja sisältää vain vähän haitallisia aineita. Pohjaveden laatuun vaikuttavat kallio- ja maaperän laatu, ilmasto-olosuhteet sekä ihmisen toiminta. Pohjaveden laadussa voi olla jonkin verran luontaista vaihtelua johtuen sateista ja kuivista kausista. (Vienonen et al. 2012, s. 9)

Pitkän ajan kuluessa veden hydrologisessa kierrossa oleva vesimäärä pysyy vakiona ilman vedenottoa. Näin ollen pitkällä tarkasteluvälillä myös pohjavesivarastot ovat tasapainotilassa eli tulovirtaama ja pohjaveden purkautuminen ovat yhtä suuria. (Salonen et al. 2002, s. 119, 126) Lyhyemmällä aikavälillä tarkasteltuna Suomessa pohjavedenpinnan vaihtelut ovat arviolta noin 0,1 – 1,0 metriä vuodessa (Salonen et al. 2002, s. 124). Eniten pohjavedenpinnan taso muuttuu vuodenaikavaihtelun eli sadannan ja haihdunnan muutosten seurauksena (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 36). Tyypillinen esimerkki pohjavedenpinnan tason vaihteluista Etelä-Suomessa on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Tyypillinen esimerkki pohjaveden luonnollisista pinnanvaihteluista eri vuodenaikoina Etelä-Suomen pohjavesimuodostumissa. (Vienonen et al. 2012, piirros O. Ahola)

Pohjavedenpinnan taso on korkeimmillaan lumen sulamisen aikaan keväällä ja kesällä haihdunnan kasvaessa se laskee. Syyssateiden aikaan pohjavettä muodostuu enemmän runsaamman sadannan vuoksi. Talvella pohjavedenpinnan taso on alimmalla tasolla, koska sade tulee yleensä maahan lumena ja lisäksi maan ollessa roudassa veden imeytyminen maaperään estyy. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 38)

3.2 Pohjavesivirtaus

Pohjaveden hydrologisen kierron vuoksi pohjavesi on jatkuvassa liikkeessä (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 45; Mälkki 1999, s. 22). Pohjaveden liike suuntautuu pohjaveden muodostumisalueen purkautumisalueille suuremmasta painekorkeudesta pienempään. Pohjavesi voi purkautua maanpinnalle tihkumalla, haihtumalla tai virtaamalla lähteistä. Pohjavesi voi purkautua myös vesistöön. Luonnollisille purkautumispaikoille on tyypillistä, että ne ovat näkymättömissä esimerkiksi kasvillisuuden tai veden alla. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 41, 45, 47; Mälkki 1999, s. 32)

Suomessa pohjaveden virtausnopeus vaihtelee suuresti. Virtausnopeus vaihtelee välillä $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/h...0,6 m/h. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 43) Savissa ja savimoreeneissa pohjavesi virtaa hyvin hitaasti, kun taas hiekkakerrostumissa pohjaveden virtausnopeus on suurempi. Virtausnopeudesta on kuitenkin vaikea antaa yksiselitteisiä lukuja,

sillä samassakin pohjavesiesiintymässä virtausnopeuksissa voi olla suuria johtuen esimerkiksi maakerrosten epäjatkuvuuskohdista ja maalajien heterogeenisuudesta. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 44; Mälkki 1999, s. 39) Pohjaveden virtausnopeus on yleensä parempi vaakasuunnassa maakerrosten mukaisesti, joten virtaus on yleensä kanavoitunutta (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 44; Mälkki 1999, s. 39).

Tavallisesti pohjaveden virtaussuunta on kohti pintavesistöjä, mutta virtauksen suunta voi olla päinvastainenkin (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 47). Jos pintavedestä imeytyy vettä pohjavesimuodostumaan, puhutaan rantaimetyymisestä (Vienonen et al. 2012, s. 10).

Rantaimetyyminen voi olla luonnollista tai keinotekoisia, jolloin kyse on esimerkiksi tekopohjaveden imeyttämisestä pohjavesimuodostumaan sen antoisuutta parantamaan. Luonnollinen, hallitsematon rantaimetyyminen aiheuttaa enemmän ongelmia veden laatuun kuin hallittu imeyttäminen. Varsinaisen pohjaveden, rantaimetyymeen pohjaveden ja pintaveden laadut voivat erota huomattavasti toisistaan. Rantaimetyymisen kautta pohjavesimuodostumaan virrannut pintavesi voi aiheuttaa haitallisia muutoksia pohjaveden laadussa. Rantaimetyyminen voi esimerkiksi nostaa pohjaveden rautapitoisuutta ja orgaanisen hiilen pitoisuutta sekä alentaa liuenneen hapen määrää. Rantaimetyymynyt vesi saattaa myös muuttaa pohjaveden lämpötilaa, happamuutta sekä sähkönjohtavuutta. Lisäksi rantaimetyymisen kautta pohjaveteen voi päästä mikrobeja tai levämyrkyjä. Rantaimetyymisvyöhykkeellä vuodenaikaisvaihtelujen vaikutukset pinta- ja pohjaveden laatuun voivat olla huomattavia. (Vienonen et al. 2012, s. 10) Jos rantaimetyymistä tapahtuu häiriintymättömien rantakerrosten läpi, muodostavat nämä kerrokset usein riittävän tehokkaan biologisen puhdistusmekanismin. Kuitenkin jos rantaviiva on häiriintynyt esimerkiksi rakennustöiden tai eroosion seurauksena, pintavesi voi kulkeutua suoraan pohjaveteen. (Mälkki 1999, s. 173)

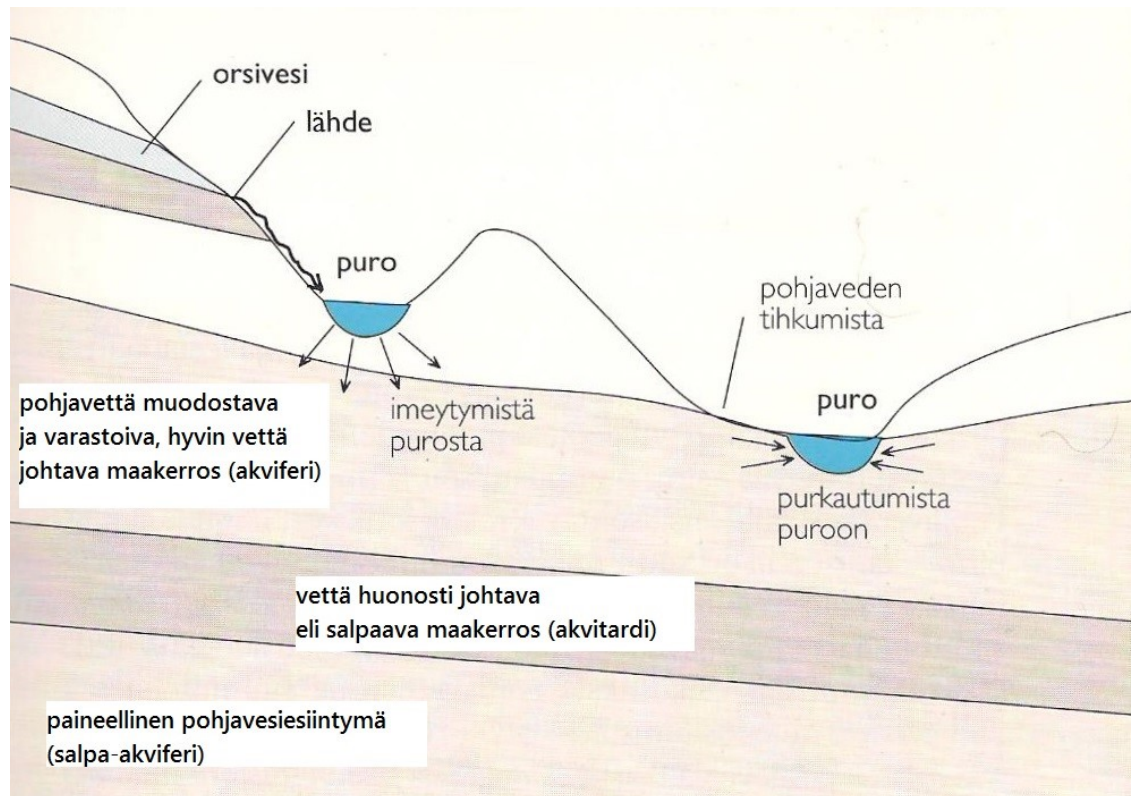
Pohjaveden virtaussuuntia tutkitaan, jotta voidaan esimerkiksi määrittää pohjaveden muodostumisalueen rajat ja pilaantuneen pohjaveden kulkeutumismahdollisuudet riskikohteiden ympäristössä. Lisäksi pohjavesialueiden uloimpia rajoja määritettäessä pohjaveden virtaussuuntien tietäminen on tarpeen. (Molarius 2005, s. 38)

3.3 Pohjaveden esiintyminen

Pohjavesiesiintymät voivat olla vapaita tai paineellisia. Vapaan pohjaveden pinnassa paine on yhtä suuri kuin ilmakehän paine, joten pohjavedenpinnassa hydrostaattinen paine on nolla ja paine kasvaa lineaarisesti alaspäin mentäessä. (Salonen et al 2002, s. 88; Jääskeläinen 2011, s. 37) Vapaan pohjaveden yläpuolella olevalla vedellä on pienempi paine kuin huokostilassa olevalla ilmalla (Salonen et al 2002, s. 88).

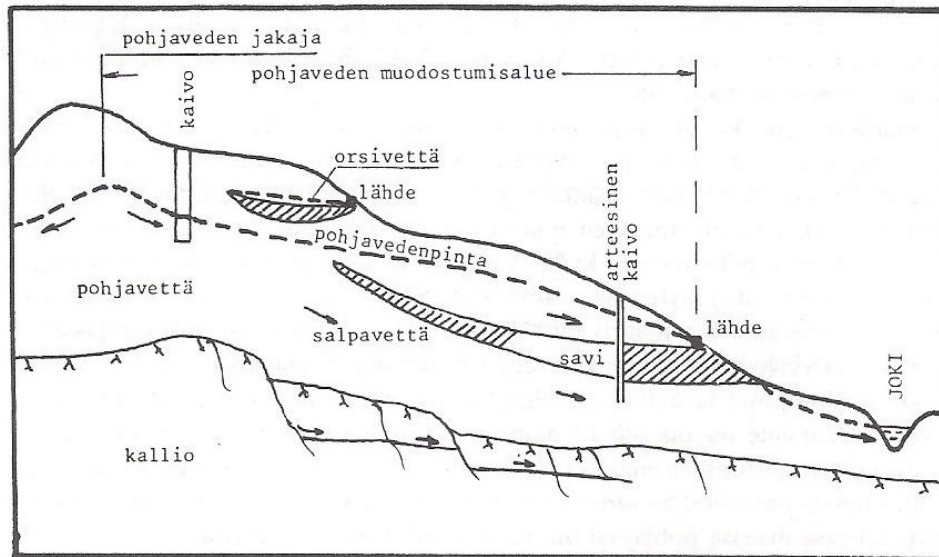
Orsivettä esiintyy varsinaisen pohjavesivyöhykkeen yläpuolella jonkin muuta maaperää hienorakeisemman maakerrostuman päällä. Orsivesi on kuitenkin vapaata pohjavettä,

koska sen päällä ei ole huonosti vettä johtavaa maakerrosta. Orsivesiesiintymästä saat-
taa olla useampi metri varsinaiseen pohjavedenpintaan. (Jääskeläinen 2011, s. 37) Orsi-
vesiesiintymiä voi esiintyä esimerkiksi harjuilla, joko suppamuodostumien yhteydessä
tai harjun lievealueilla. Suppakuopissa voi olla suovesilampia tai harjulampia, joissa
vedenpinta on huomattavasti pohjavedenpinnan yläpuolella, koska supan pohjalla on
hienorakeinen, vettä läpäisemätön maalajikerros. Harjujen reunoille on varsin yleisesti
muodostunut rantakerrostumia, jolloin hiekan alla on heikosti vettä läpäisevä savi- tai
silttikerrostuma. Tällöin vajovesiä pidättyy varsinaisen pohjavesipinnan yläpuolelle or-
sivesikerrokseksi. (Mälkki 1999, s. 75–76) Kuvassa 16 on esimerkki orsivesikerroksesta
ja sen sijainnista suhteessa varsinaiseen pohjavesivyöhykkeeseen.



Kuva 16. Esimerkki vapaan ja paineellisen pohjaveden esiintymisestä.
(Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 39)

Salpavesi on paineellista pohjavettä eli salpaveden pinnassa paine on ilmakehän painetta suurempi. Salpavesi rajoittuu ainakin yläpuoleltaan vettä läpäisemättömään kerrokseen, joka estää vedenpinnan nousun ympäristön säätelemälle painetasolle. Esimerkki tällaisesta paineellisesta pohjavesiesiintymästä näkyy kuvissa 16 ja 17. Kuvassa 17 näkyy lisäksi muutakin pohjaveteen liittyvää käsitteistöä, kuten artesinen kaivo. Artesinen kaivo muodostuu, kun paineellista pohjavettä (salpavettä) salpaava, vettä huonosti läpäisevä maakerros puhkeaa. Tällöin paineellista pohjavettä purkautuu ylös niin kauan, kunnes salpaavan kerroksen alla oleva pohjavedenpinta saavuttaa pohjavesiympäristön säätelemän painetason.



Kuva 17. Pohjaveteen liittyvää käsitteistöä. (Rantamäki et al. 2008, s. 52)

Paineellista pohjavettä esiintyy pääasiassa harjujen liepeillä savin salpaamana ja esimerkiksi Pohjanmaan savipeitteisissä, jokilaaksoissa sijaitsevilla harjuilla (Salonen et al. 2002, s. 127).

Pohjavettä tarkastellessa voidaan erottaa toisistaan maaperässä oleva ja maaperästä käyttöön saatava pohjavesi (Salonen et al. 2002, s. 159). Laissa vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä pohjavesimuodostumalla tarkoitetaan ”yhtenäisenä esiintymänä olevaa vettä, joka sijaitsee huokoisessa ja läpäisevässä maa- tai kallioperämuodostumassa ja joka mahdollistaa merkittävän pohjaveden virtauksen tai merkittävän pohjavedenoton”. Pohjavesialue määritellään alueeksi, jolla on vaikutusta pohjavesimuodostuman laatuun tai muodostumiseen. (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 2004/1299, § 2, § 10 a)

Suomen pohjavesivarjoista 95 % on karkearakeisissa sora- ja hiekka-akvifereissa eli pohjavettä varastoivissa ja johtavissa geologisissa muodostumissa. Tällaisissa hiekka- ja soramuodostumissa jopa 30-60 % sadannasta suotautuu pohjavedeksi. Hyvin vettä johtavista muodostumista pohjavesi saadaan helposti käyttöön, kun taas esimerkiksi savet ovat huonoja pohjaveden varastoja, koska niiden vedenjohtavuusarvo on pieni ja huokosissa oleva vapaa vesi on kapillaarivoimien sitomaa. (Salonen et al. 2002, s. 121–122, 126)

Pohjavesivaraston koko riippuu monista tekijöistä. Alueen hydrologiset tekijät, kuten sadanta, sekä pohjavesiesiintymän geologinen ympäristö ja alueen maalajien vedenjohtavuus vaikuttavat siihen, kuinka paljon vettä suotautuu pohjavesiesiintymään. Maaston topografia sekä maanpinnan ja pohjaveden purkuvesistön välinen korkeusero vaikuttavat myös pohjavesivaraston laajuuteen. (Salonen et al. 2002, s. 126)

Suomen pohjavesimuodostumat ovat yleensä pienimuotoisia ja kalliokynnysten rajamia, vapaata pohjavettä sisältäviä esiintymiä. Suurimmat pohjavesimuodostumat ovat

pitkittäisharjuissa sekä Salpausselän laajoissa deltamuodostumissa. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 40) Etenkin harjujen karkearakeisesta aineksesta koostuvat ydinosat ovat hyvän vedenjohtavuutensa takia merkittäviä pohjavesivarastoja. Harjuissa pohjavesivarat sijaitsevat yleensä syvällä, jopa 10-50 metrin syvyydessä. (Salonen et al., 126, 130)

Pohjavesimuodostumat eivät kuitenkaan sijoitu Suomessa tasaisesti. Erityisen vähän pohjavesimuodostumia on rannikkoalueilla, ja siellä onkin jouduttu vedenhankinnassa hyödyntämään savikerrosten alaisia pohjavesiesiintymiä. (Syke 2017) Moreenialueilla voi olla paikallisesti hyviäkin akvifereja, mutta niiden pohjavesivarastot ovat vaatimatomia harjujen pohjavesivarastoihin verrattuna. Kuitenkin esimerkiksi kumpumoreenialueilla voi olla useitakin lähde-esiintymiä. (Mälkki 1999, s. 94–95)

Suomen pohjavesiesiintymien vedentuotto riippuu niiden ominaisainetoisuudesta ja vaihtelee välillä 200-10 000 m³ vettä vuorokaudessa. Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että hyvistä pohjavesiesiintymistä voidaan pumpata vettä 1000 kuutiometriä vuorokaudessa jokaista pohjaveden muodostumisalueen neliökilometriä kohden. (Salonen et al. 2002, s. 126)

3.4 Pohjaveden määrän ja laadun muutosten seurauksia

Pohjaveden kemiallinen ja biokemiallinen koostumus määrittävät sen soveltuvuuden talousvedeksi. Pohjaveteen liuenneilla aineilla ja niiden pitoisuuksilla on tärkeä merkitys (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 78) Maahan imeytyneen veden muuttuminen maa-vesivyöhykkeessä hyvälaatuiseksi pohjavedeksi on monimutkainen ja herkkä prosessi, joten jos jokin tekijä maaperässä muuttuu, voivat vaikutukset veden laatuun olla huomattavia (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 69). Esimerkiksi hapetus-pelkistysolosuhteiden muuttuminen voi johtaa veden muuttumiseen rauta- ja mangaanipitoiseksi (Mälkki 1999, s. 123).

Luonnollisessa tilassa olevassa pohjavedessä laatutasapaino voi vaihdella vähäisissä määrin esimerkiksi vuodenaikojen mukaan. Laatutasapaino voi säilyä pitkään, vaikka esimerkiksi pohjavesiolosuhteet muuttuisivat ihmistoiminnan vaikutuksesta. Kun tasapaino sitten muuttuu pysyvästi, ennalleen palauttaminen on vaikeaa. Laatutasapainoa saattavat muuttaa esimerkiksi pohjavedenpinnankorkeutta muuttavat tekijät, sillä jos pohjaveden määrä muuttuu, se voi aiheuttaa joissakin olosuhteissa johtaa laadun muutoksiin. (Mälkki 1999, s. 115, 123)

Pohjaveden muodostumisolosuhteita voivat muuttaa sellaiset toimenpiteet, jotka muuttavat maan pintakerrosten rakennetta tai maaperän vedenjohtavuutta (Niini et al. 2007, s. 170). Esimerkiksi rakennetussa ympäristössä veden imeytyminen pohjavesivyöhykkeeseen vähenee, koska päällystettyjä pintoja on paljon ja hulevedet johdetaan pois esi-

merkiksi hulevesiviemäriin. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 38). Alueen maankäyttö siis vaikuttaa muodostuvan pohjaveden määrään.

Rakentaminen ja rakennustyöt voivat vaikuttaa pohjavedenpinnan tasoon paikallisesti. Esimerkiksi pohjaveden alentaminen työmaalla, pohjavedenpinnan hallinta kellaritilojen kuivana pitämiseksi ja muut kuivatustoimenpiteet voivat alentaa pohjavedenpinnan tasoa. Myös maa-ainesten otto hiekka- ja sora muodostumista vaikuttaa muodostuvan pohjaveden laatuun ja määrään (Niini et al. 2007, s. 159).

Ihminen voi vaikuttaa suoraan pohjaveden laatuun joko pistekuormituksen tai laajalaisemman kuormituksen kautta. Pohjaveden likaantumista aiheuttavia toimintoja ovat esimerkiksi maa- ja metsätalous, teollisuus sekä liikenne. Maa- ja metsätaloudessa käytettäviä pohjaveden pilaantumisriskiä aiheuttavia aineita ovat lannoitteet ja torjunta-aineet. Teollisuudessa käytettäviä, pohjaveteen mahdollisesti kulkeutuvia haitta-aineita ovat tuotannosta riippuen esimerkiksi raskasmetallit, fenolit ja öljyt. Tiesuolan käyttö liukkauden torjunnassa voi kohottaa pohjavesien kloridipitoisuuksia. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, s. 73) Pohjaveteen voi päästä haitallisia kemikaaleja onnettomuuksien, huolimattomuuden ja laiminlyöntien vuoksi.

Haitta-aineiden ja epäpuhtauksien kulkeutumiseen pohjavedessä vaikuttavat monet tekijät. Maaperän vedenläpäisevyys, pohjaveden virtausnopeus ja virtaussuunta sekä haitta-aineiden liukoisuusominaisuudet vaikuttavat siihen, miten haitta-aineet pääsevät leviämään pohjavesiesiintymässä. (Vienonen et al 2012, s. 9)

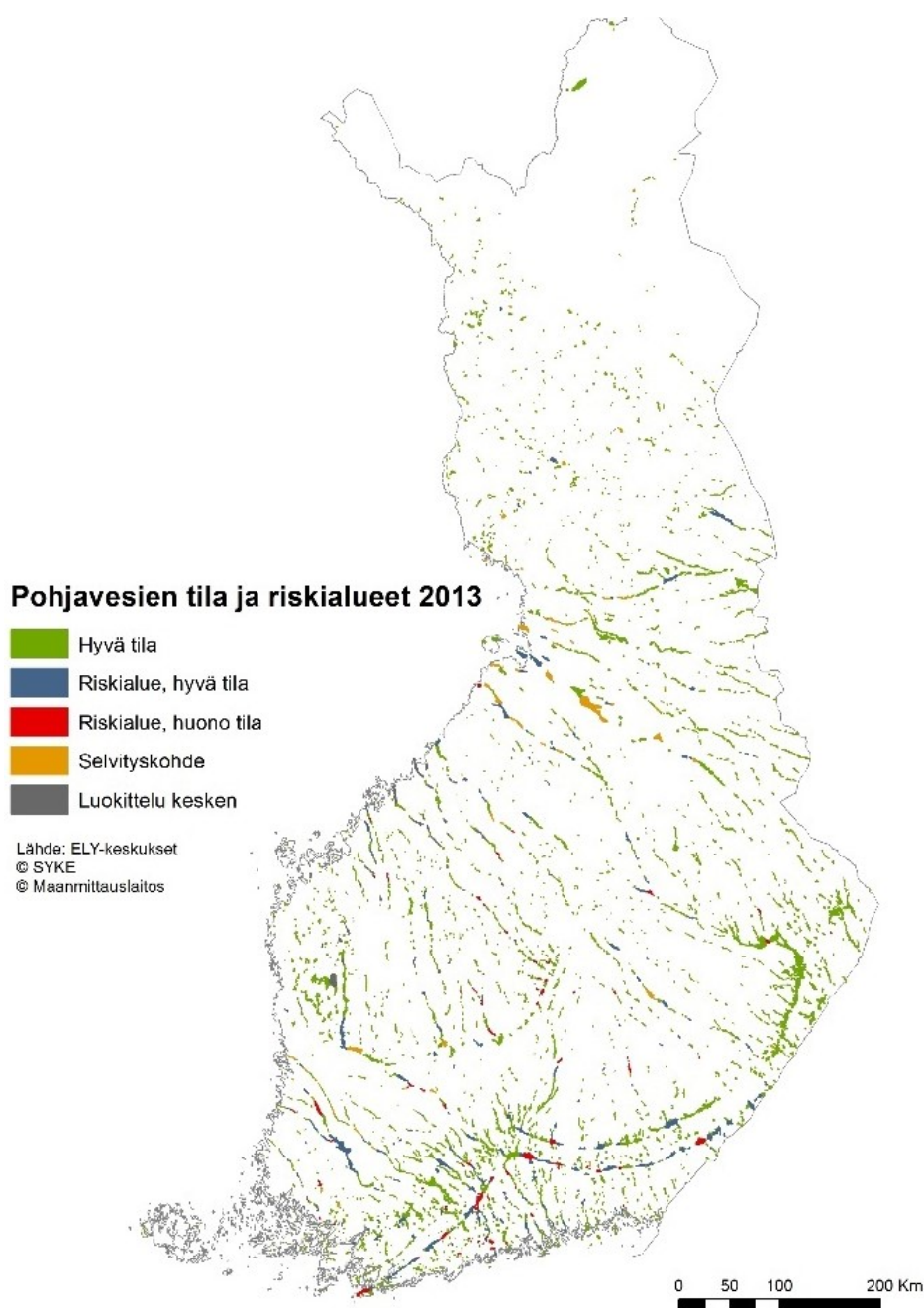
3.5 Pohjavesialueiden suojelu

Tärkeimmät pohjaveden suojelua koskevat kansalliset säännökset kuuluvat ympäristönsuojelulakiin (2014/527), vesilakiin (2011/587) sekä lakiin vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (2004/1299). Näihin säännöksiin kuuluvat esimerkiksi pohjaveden ehdoton pilaamiskielto (YSL 2014/527, 17 §) sekä säännös vedenottamon vesioikeudellisista suoja-alueista (Vesilaki 2011/587, 4:11 §). Kansallisen vesienhoidon lainsäädännön yleisenä tavoitteena on edistää vesivarojen kestäväää käyttöä, estää pohjavesien pilaantumista ja vähentää jo tapahtuneen pilaantumisen seurauksia, jotta pohjaveden määrällinen ja kemiallinen tila pysyisivät hyvinä.

Vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain (2004/1299) perusteella pohjavesialueet luokitellaan vedenhankintakäyttöön soveltuvuuden sekä suojelutarpeen perusteella kolmeen luokkaan: 1-, 2- ja E-luokkaan. Ykkösluokkaan luokitellaan vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet. Tällaisten pohjavesialueiden vettä käytetään tai on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan tai talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin. Kakkosluokkaan luokitellaan muut vedenhankintakäyttöön soveltuvat pohjavesialueet, jotka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella soveltuvat samaan

käyttöön kuin 1-luokan pohjavesialueet. E-luokkaan luokitellaan ne pohjavesialueet, joiden pohjavedestä pinta- tai maaekosysteemit ovat suoraan riippuvaisia. (Laki vesienhoidon järjestämisestä 2014, 10b §) Aiempi luokittelu luokkiin I (vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue), II (vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue) ja III (muu pohjavesialue) on voimassa toistaiseksi rinnakkain uuden luokittelun kanssa, kunnes pohjavesialueille tehtävät luokittelutarkastukset valmistuvat (Syke 2017). Vanhassa vesilaissa (264/1961) mukana oli myös pohjaveden muuttamiskielto. Uudessa vesilaissa edellytetään laatuun tai määrään vaikuttavalta hankkeelta aluehallintoviraston lupaa, jos hanke aiheuttaa pohjavesiesiintymän tilan huononemista tai pohjavesiesiintymän antoisuuden olennaista vähenemistä (Vesilaki 2011, 3:2 §).

Suomessa on noin 3800 luokiteltua pohjavesialuetta, joista suurimman osan tila on hyvä. Vuonna 2013 ympäristöministeriön, maa- ja metsätalousministeriön sekä sosiaali- ja terveysministeriön julkaiseman tiedotteen mukaan riskialttiiden pohjavesialueiden määrä on kasvanut merkittävästi vuodesta 2009. Riskialttiiden pohjavesialueiden määrä on kasvanut noin sadalla neljän vuoden aikana. Syiksi riskialttiiden pohjavesialueiden lisääntymiselle raportissa esitetään lisätutkimuksista saadut tarkentuneet tiedot pohjavesialueiden tilasta sekä ihmistoiminnan aiheuttamien riskien lisääntyminen etenkin taajamissa ja Etelä-Suomessa. Noin sadan pohjavesialueen tila oli huono. Pohjavesialue luokitellaan riskialueeksi, jos pohjavedessä on todettu haitallisten aineiden kohonneita pitoisuuksia ja pohjaveden laatu voi huonontua ilman suojelutoimia. (Ympäristöministeriö 2013). Suomen pohjavesien tila ja riskialueet vuodelta 2013 on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Pohjavesien tila ja riskialueet 2013. (Ympäristöministeriö 2013)

Vanhassa vesilaissa (264/1961) vuodelta 1961 esitettiin ensimmäistä kertaa pohjaveden käyttöä ja suojelua koskevat säädökset. Tällöin vedenottajille tuli mahdollisuus saada vahvistus suoja-alueelle vedenottamoiden ympärille. Suoja-alueen vahvisti vesioikeus, mutta nykyään vahvistajana toimii ympäristölupaviranomainen. Suoja-alueenmenettelyyn kuuluu, että maankäytön rajoituksista suoja-alueella tulee maksaa haitan kärsijöille korvauksia. Niinpä etenkin 1960-1980-luvuilla suoja-alueet tehtiin mahdollisimman suppeiksi korvausten pitämiseksi mahdollisimman pieninä. (Öhberg & Molarius 2005, s. 37) Muun muassa tämän syyn takia vesioikeudellisten suoja-alueiden muodostaminen osoittautui haastavaksi ja vuonna 1999 vahvistettuja suoja-alueita oli vain runsaat 200 kappaletta (Mälkki 1999, s. 184).

Pohjavesialueen suojelusuunnitelmat alkoivat nousta vedenottamoiden suoja-alueiden rinnalle 1980-luvulta lähtien. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma on vapaaehtoinen toimintasuunnitelma sekä viranomaisille että pohjavesialueella toimiville yrityksille. Sillä ei ole välitöntä sitovaa tai juridista seurausvaikutusta, eikä sen laatimisesta tai soveltamisesta aiheudu korvausvastuuta vedenottajalle. Suojelusuunnitelma voidaan tehdä koko pohjavesialueelle pelkän vedenottamon suoja-alueen sijaan. (Öhberg & Molarius 2005, s. 37-38) Suojelusuunnitelman laatimisesta säädetään laissa vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 2004/1299, § 10 e). Suojelusuunnitelmat laaditaan yhteistyössä ympäristöviranomaisten ja vedenottajien kanssa ja suojelusuunnitelmassa esitetään pohjaveden virtaussuunnat, pohjavesialueella olevat tunnistetut riskitekijät sekä toimenpiteet näiden riskien pienentämiseksi tai poistamiseksi. Suunnitelmaan liittyy toimenpideohjelma, jonka toteutumista seurataan säännöllisesti. Nykyään pohjaveden suojelusuunnitelmia suositetaan pohjavedenottamoiden suoja-alueiden vahvistamisen sijaan ja suoja-alueenmenettely voidaan usein korvata pohjaveden suojelusuunnitelmalla. (Öhberg & Molarius 2005, s. 37-38)

Pohjaveden suojeluun liittyvät myös rakentamiseen vaadittavat luvat. Rakentamiseen tarvitaan rakennuslupa. Lisäksi kunnan omassa rakennusjärjestyksessä voidaan määrätä tarkempia ehtoja koskien rakentamista pohjavesialueella. Esimerkiksi Tampereella pohjavesialueelle rakennettaessa voidaan tarpeen mukaan vaatia asiantuntijan laatima pohjaveden hallintasuunnitelma ja siihen liittyvä pohjaveden tarkkailuohjelma (Tampereen kaupunki 2014, § 29). Lisäksi sellaisille hankkeille, jotka voivat aiheuttaa pohjaveden määrän vähenemistä tai pohjavesiesiintymän tilan huononemista, tarvitaan lupa aluehallintovirastolta (Vesilaki 2011/587, § 3:2).

Pohjavesialue voidaan kuitenkin nähdä osittain vain hallintoon liittyvänä terminä, joka on kehittynyt kuvaamaan sitä aluetta, jolla arvioidaan olevan hyödynnettävissä pohjavesivarjoja (Mälkki 1999, s. 66, 102). Pohjavesialueeseen kuuluu pohjaveden muodostumisalue sekä mahdollisesti myös pohjavesimuodostuman kanssa yhteydessä olevat reuna-alueen osat, jotka eivät varsinaisesti muodosta pohjavettä. Molemmat hallinnolliset osa-alueet voivat kuitenkin poiketa geologisista rajauksista. (Mälkki, s. 103) Esimerkiksi vaikka pohjaveden muodostumisalueen rajalla pyritään osoittamaan se vyöhyke, jonka ulkopuolella ei pohjaveden välitöntä muodostumista tapahdu, ei raja kuitenkaan yksiselitteisesti tarkoita, että rajan ulkopuolella tapahtuvat likaantumistapahtumat eivät voisi vaikuttaa pohjaveden laatuun. Myös rajan ulkopuolelta voi tapahtua hidasta suotautumista pohjavesimuodostumaan. Harjuissa on tyypillisesti pohjavesimuodostuman reuna-alueilla ns. vaihtumisvyöhyke, jolla maa-aineksen vedenjohtavuus asteittain pienenee. Näin ollen ei voida aina määrittää kartalle tarkkaa rajaa siitä, milloin maaperän vedenjohtavuus muuttuu riittävän pieneksi merkittävän suotautumisen estämiseksi. (Mälkki, s. 188)

4. PAALUTUKSEN VAIKUTUKSIA POHJAVE- TEEN

Paalutuksen vaikutuksia pohjaveden laatuun tai määrään on tutkittu vain vähän. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton eli RIL:n julkaisemissa suomalaista rakentamista ohjaavissa ohjeissa ja normeissa sekä InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmässä on esitetty lista mahdollisista vaikutuksista, joita paalutuksella voi olla pohjaveteen, mutta niiden seurauksista ja haitallisten seurauksien ehkäisykeinoista kerrotaan hyvin niukasti.

Seuraavissa kappaleissa esitellään ohjeistuksessa mainittuja vaikutuksia ja tarkastellaan Hirdin et al. (2006) tekemän tutkimuksen tuloksia siitä, millaisia muodonmuutoksia ja siirtymiä paalutustyöt voivat aiheuttaa kerroksellisessa maaperässä. Nämä tutkimustulokset liittyvät myös pohjaveden pilaantumisriskiin, sillä juuri maakerrosten sekoittumisen seurauksena voi muodostua kulkureitti pohjaveden laatua heikentäville haitta-aineille. Kansainvälisesti tutkimuksia on tehty eniten liittyen haitta-aineiden pääsyyn pohjaveteen paalutuksen seurauksena. Tässä selvityksessä käsitellään Haymanin et al. (1993) ja Boutwellin et al. (2000) tekemiä tutkimuksia aiheesta. Lisäksi tarkastellaan mahdollisia paalutuksesta johtuvia pohjaveden pilaantumiseen liittyviä skenaarioita Ison-Britannian ympäristöviranomaisen Environment Agency:n tekemän raportin perusteella (Westcott et al. 2001). Environment Agency (EA) toimii yhdessä hallituksen *Department for Environment, Food and Rural Affairs*-ministeriön kanssa, mutta ei ole suoraan ministeriön alainen elin. EA:n vastuulla on ympäristön suojeleminen ja parantaminen Englannissa.

Paalutuksen mahdollisista vaikutuksista paineellisen pohjaveden alueella esitellään yksi case-esimerkki. Myös paalumateriaaleihin liittyviä riskejä, kuten teräksen korroosiota ja puun suojeluaineita, käsitellään.

4.1 Ohjeistuksissa mainitut vaikutukset

Paalutuksen vaikutuksia pohjaveteen on listattu Suomen rakentamista koskevissa ohjeissa ja normeissa sekä InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmässä. Tässä selvityksessä on käytetty lähteenä vuonna 2011 julkaistua Paalutusohjetta PO-2011, mutta uusi Paalutusohje PO-2016 on julkaistu alkuvuonna 2017. Muutokset ohjeistuksessa koskien paalutuksen ympäristövaikutuksia eivät kuitenkaan ole aiheen käsittelyn kannalta merkittäviä. PO-2011:ssa korostetaan sitä, että paalutuksen aiheuttama häiriö tai ympäristövaikutuksen laatu ja laajuus riippuvat paalutuspaikasta, paalutuspaikan maaperäolosuhteista sekä paalutusmenetelmästä ja työjärjestyksestä. Lisäksi mainitaan, että paalutustyössä

tulee ottaa huomioon pohjaveden likaantumisriski ja pyrkiä estämään tai vähentämään sitä.

Ohjeistuksissa esitetään paalutuksen mahdollisesti aiheuttamiksi häiriöiksi tai ympäristöhaittoiksi maakerrosten siirtyminen tai tiivistyminen, maakerrosten häiriintyminen, huokosvedenpaineen kasvu, pohjavedenpinnan aleneminen, tärinä, melu sekä maan, veden tai ilman saastuminen. Paalutuksen mahdollisia vaikutuksia pohjavedenpinnan korkeuteen tulee tarkkailla työn aikana. Ohjeistuksen mukaan pohjavesialueella työskennellessä tulee haitallisten injektointi- ja huuhteluaineiden pääsy pohjaveteen estää. Paalutuskoneen rikkoutuessa voi vuotava öljy ja huuhtelu- tai injektointiaine aiheuttaa haittaa pohjavedelle. Porapaalutuksessa käytettäviä injektointilaastin ja huuhteluaineiden kemikaaleja ei saa päästää pohjaveteen. Pohjavesialueella ei saa käyttää kyllästettyjä puupaaluja. (InfraRYL 2010; PO-2011)

Jos paalutetaan paineellisen pohjaveden alueella, voi paalutus puhkaista vettä läpäisemättömän kerroksen ja muuttaa pohjaveden virtausta (PO-2011). Lyöntipaalutusohjeen mukaan vettä läpäisemättömien maakerrosten alla olevan paineellisen pohjaveden esiintyminen rakennuskohteessa muodostaa erityisen riskin, joka tulee huomioida (LPO-2005, s. 73). Myös Liikenneviraston julkaisemissa ratateknisissä ohjeissa (Liikennevirasto 2012) on huomioitu paineellisen pohjaveden yläpuolella olevan vettä pidättävän kerroksen puhkaisemisen aiheuttamat riskit. Puhkaisu voi aiheuttaa tulvimista kohteessa ja pohjavedenpinnan alenemista. Paineellista pohjavettä voi päästä purkautumaan joko paalutusvaiheessa tai myöhemmin tihkumalla paalua pitkin. (Liikennevirasto 2012, s. 69-70)

4.2 Maakerrosten sekoittuminen paalutuksen seurauksena

Hird et al. (2006) selvittivät tutkimuksessaan, kuinka paaluttaminen voi muuttaa kerroksellisen maaperän maakerrosten järjestystä. Maakerrosten sekoittumista paalutuksen seurauksena ei heidän mukaansa ole juurikaan tutkittu aiemmin muuten kuin haitta-aineiden siirtymisen näkökulmasta. Tutkimuksessa tarkasteltiin sekä paalun ympärillä olevan maan pystysuuntaisia siirtymiä ja niistä johtuvia muodonmuutoksia että vettä huonosti johtavan savikerroksen vedenläpäisevyyden muuttumista maakerrosten sekoittumisen seurauksena.

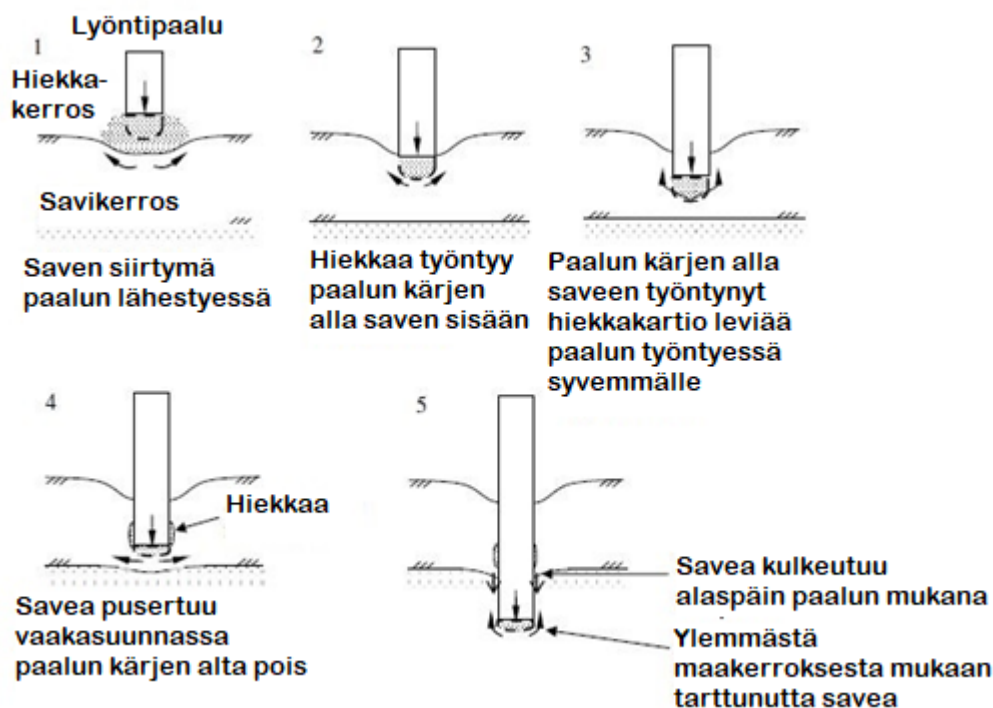
Kokeet tehtiin halkaisijaltaan 25 mm:n sylinterimäisillä teräspaaluilla ja poikkileikkaukseltaan H-kirjaimen mallisilla paaluilla. Lisäksi tehtiin muutama koe maata syrjäyttämättömien CFA-paalujen asennusta simuloiden sekä poikkileikkaukseltaan neliön mallisella paalulla ja kärjestään terävällä paalulla.

Tutkimusta varten tutkimusastiaan laitettiin kerroksittain hiekka- ja savikerroksia siten, että savikerros jäi kahden hiekkakerroksen väliin. Hiekkana käytettiin sekä karkeaa että hienoa kvartsihiekkää. Savi oli kaoliinisavea. Paalujen asennus tehtiin hiekka-savi-

hiekkamaakerroksien läpi. Eri koetilanteissa käytettiin eri paksuisia hiekka- ja savikerroksia. Osassa koetilanteista sekä alempi että ylempi hiekkakerros tiivistettiin, osassa koeasetelmissa ylempi tai hiekkakerros jätettiin tiivistämättä. Hiekkakerros oli paksuudeltaan aina yli 100 millimetriä ja savikerroksen paksuus vaihteli 15 millimetrin ja 200 millimetrin välillä. Lisäksi hiekan ja saven ominaisuudet vaihtelivat jonkin verran eri koeasetelmissa.

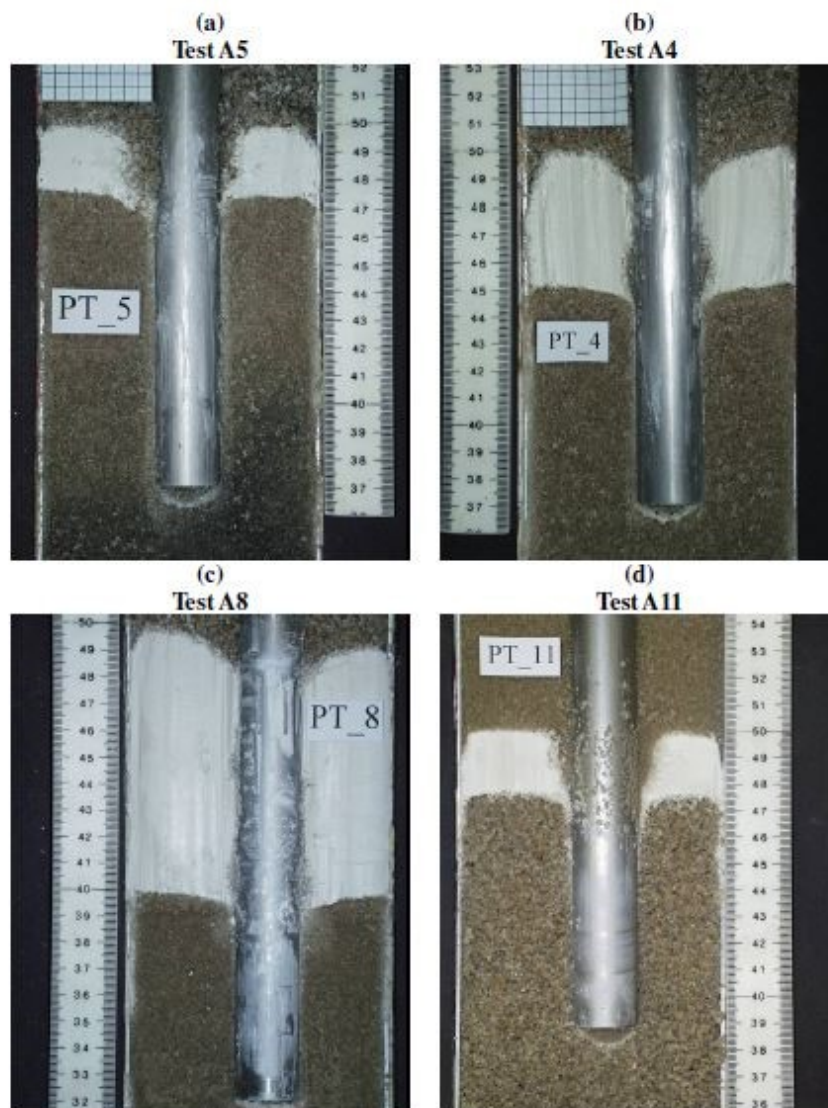
4.2.1 Maan siirtymät ja muodonmuutokset

Hirdin et. al (2006) tekemässä tutkimuksessa tutkittiin millaisia pystysuuntaisia siirtymiä ja muodonmuutoksia hiekka-savi-hiekka-maakerroksissa tapahtui erilaisten paalutyypin asennuksen seurauksena. Kuvassa 19 esitetään pelkistetty malli lyöntipaalun tunkeutumisesta maaperäkerrokseen ja sen aiheuttamista maan muodonmuutoksista ja siirtymistä paalun ympärillä.



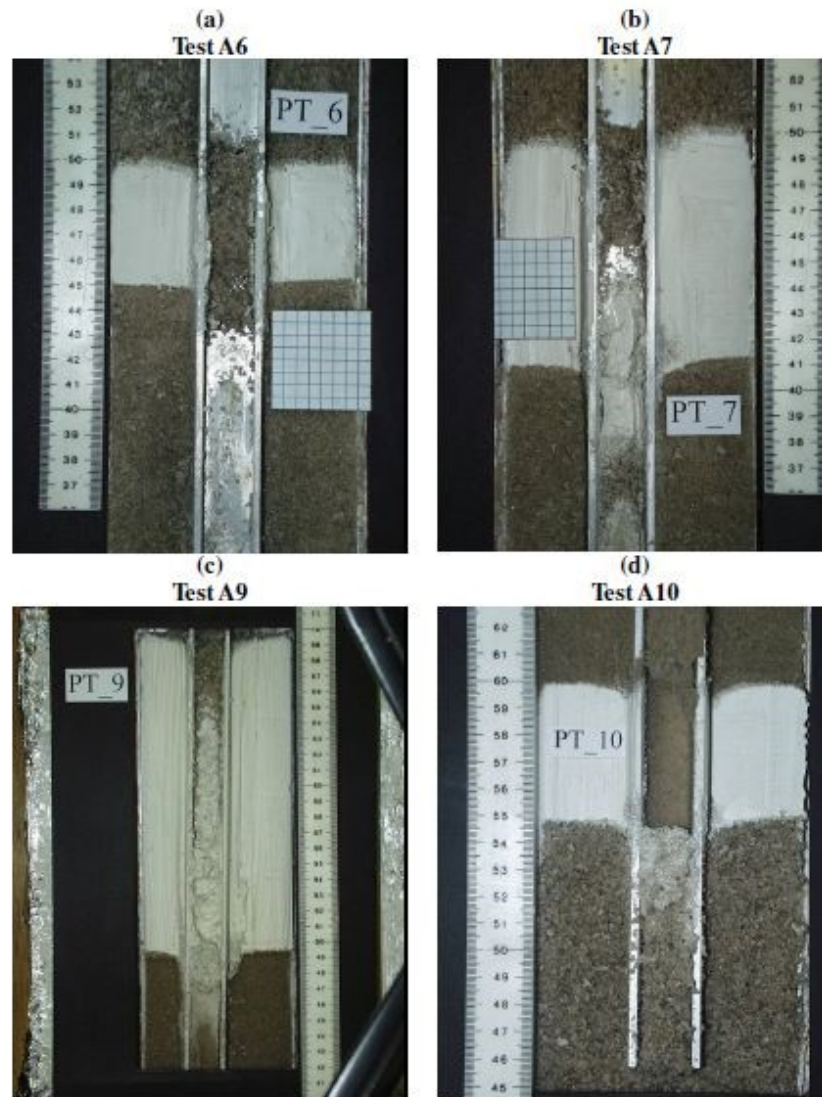
Kuva 19. Lyöntipaalun aiheuttamat muodonmuutokset maaperässä, jossa savikerros on kahden karkeamprakeisen maakerroksen välissä. (Hird et al. 2006 mukailten)

Kuten kuvasta 20 nähdään, poikkileikkaukseltaan ympyrän muotoisen paalun mukana kulkeutuu ylemmästä maakerroksesta hiekkaa, jota kulkeutuu paalun seinämää pitkin saven sekaan. Jonkin verran ylemmän kerroksen hiekkaa ja savea on kulkeutunut myös paalun kärjen alla alempaan hiekkakerrokseen. Tällaisia pystysuuntaisia siirtymiä kutsutaan englanninkielisessä kirjallisuudessa termillä *down-dragging*.



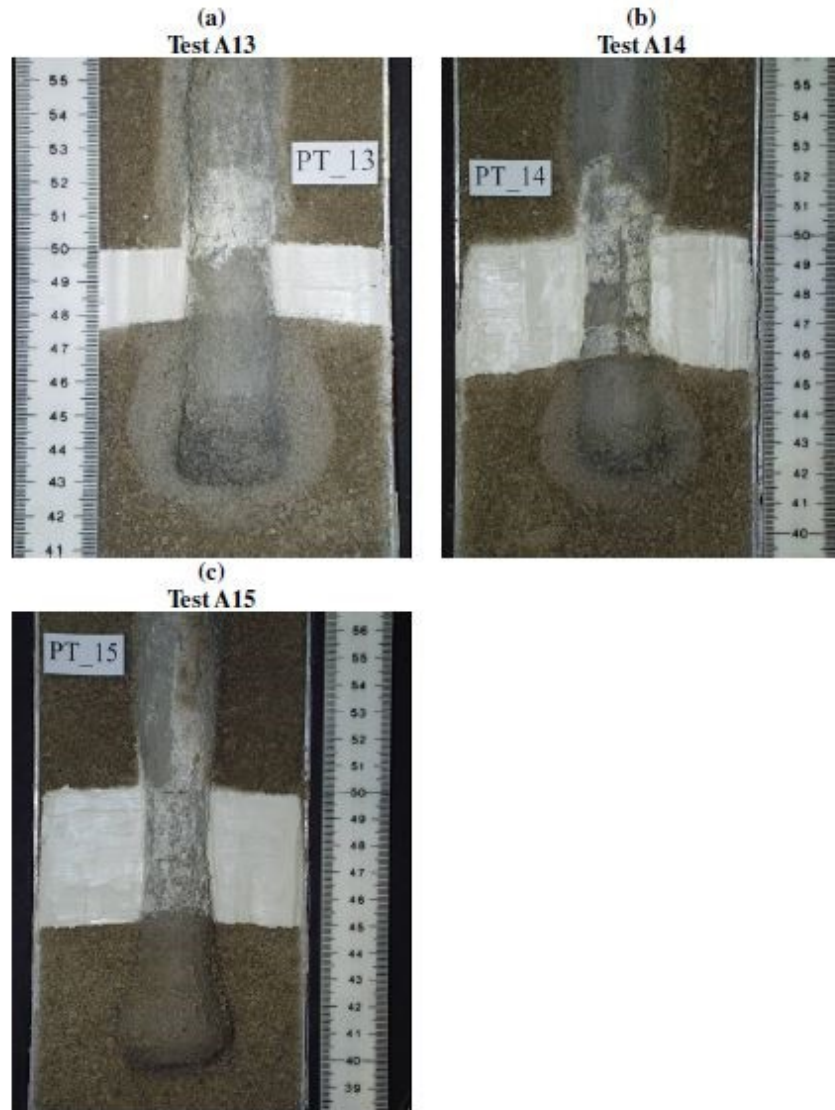
Kuva 20. Umpinaisen paalun, jonka poikkileikkaus on ympyrä, aiheuttamat siirtymät ja muodonmuutokset hiekka-savi-hiekkakerroksissa. (Hird et al. 2006)

Tutkimuksessa tutkittiin myös sitä, millaisia muodonmuutoksia ja siirtymiä poikkileikkaukseltaan H-kirjaimen mallinen paalu aiheuttaa. H-paalu kuljetti mukanaan alaspäin ylemmän kerroksen hiekkaa poikkileikkauksessa olevien laippojen välissä, kuten kuvasta 21 voidaan nähdä. Ylemmän kerroksen hiekkaa kulkeutui tutkimuksen mukaan jopa alempaan hiekkakerrokseen saakka. H-paalut syrjäyttivät maata vähemmän kuin sylinteripaalut, joten muodonmuutokset paalua ympäröivässä maassa olivat pienemmät.



Kuva 21. Poikkileikkaukseltaan H:n mallisen paalun aiheuttamat maan siirtymät ja muodonmuutokset. (Hird et al. 2006)

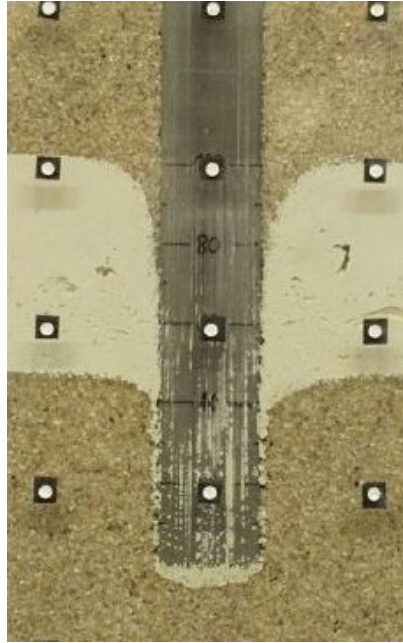
Kuvasta 22 nähdään, millaisia muutoksia maata syrjäyttämätön CFA-paalu aiheutti kerroksellisessa maaperässä. Maan siirtymät ja muodonmuutokset paalun ympärillä olivat paljon pienempiä kuin lyöntipaaluilla.



Kuva 22. Maata syrjäyttämättömän CFA-paalun aiheuttamat muodonmuutokset ja siirtymät. (Hird et al. 2006)

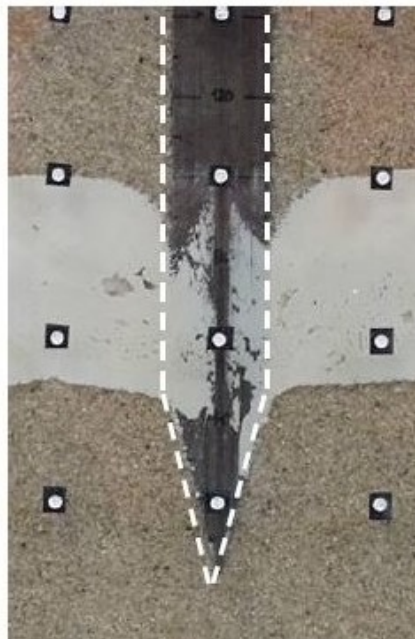
Maata ei CFA-paalua asennettaessa juuri syrjäydy, jos asennus suoritetaan oikein. Jos auger-ruuvi pyörii oikeassa suhteessa betonin valunopeuteen nähden, maata poistuu tilavuudeltaan saman verran kuin betonia valetaan tilalle. Jos asennusta ei tehdä oikein, voi maata kuitenkin siirtyä paaluun päin tai paalusta poispäin, jolloin maassa paalun ympärillä tapahtuu muodonmuutoksia ja siirtymiä.

Kuvasta 23 nähdään, että poikkileikkaukseltaan neliön mallinen paalu syrjäyttää maata samalla tavalla kuin poikkileikkaukseltaan ympyrän mallinen paalu, mutta koska neliön muotoisen kärjen poikkileikkauspinta-ala on suurempi kuin ympyrän mallisella paalulla, paalu syrjäyttää enemmän maata.



Kuva 23. Poikkileikkaukseltaan neliön mallisen paalun aiheuttamat muodonmuutokset ja siirtymät maakerroksissa. (Hird et al. 2006)

Kun käytetään teräväkärkistä paalua, ei materiaalia jää paalun päädyn alle eikä sitä näin ollen pääse kulkeutumaan alempaan kerrokseen. Tämä nähdään kuvasta 24.



Kuva 24. Teräväkärkisen paalun aiheuttamat muodonmuutokset ja siirtymät maakerroksissa. (Hird et al. 2006)

Siihen, millaisia muodonmuutoksia paalun tunkeutuminen maassa aiheuttaa, vaikuttavat monet tekijät, kuten paalua ympäröivien maalajien suhteelliset lujuudet. Näihin lujuuksiin taas vaikuttavat maan tehokkaat geostaattiset jännitykset, hiekan suhteellinen tiiviys sekä saven jännityshistoria. Niinpä sen ennustaminen, millaisia muodonmuutoksia paa-

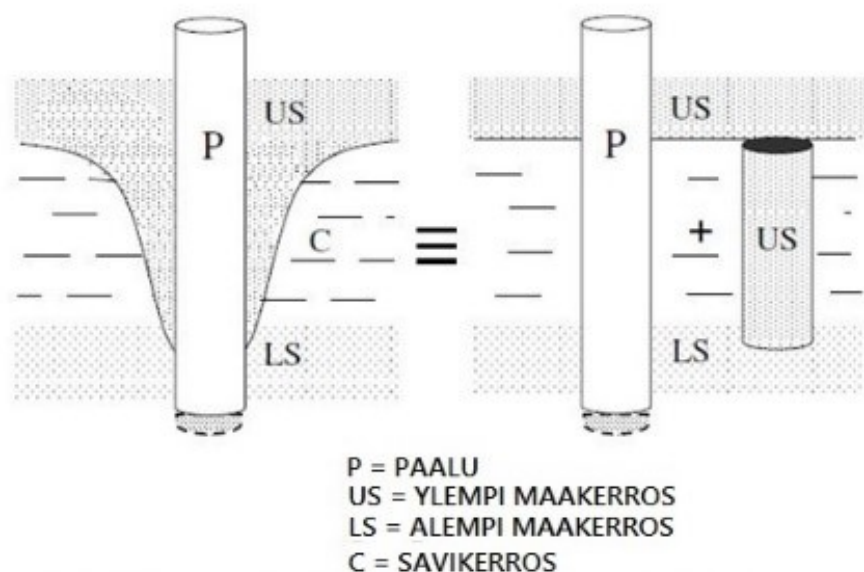
lutuksen seurauksena käytännössä tapahtuu, on vaikeaa. Kuitenkin Hird et al. (2006) toteavat, että heidän tutkimustulostensa sekä aiemmin tehtyjen tutkimusten tulosten perusteella voidaan olettaa, että savikerroksissa suurin osa pystysuuntaisista siirtymistä rajoittuu suunnilleen puolentoista paalun halkaisijan säteelle paalusta. Edellytyksenä tälle oletukselle on, että ylempien karkearakeisempien maalajien maksimiraekoko on pieni suhteessa paalun halkaisijaan ja näin käytännön paalutustilanteissa onkin. Tämän oletuksen perusteella voidaan todeta maan pystysuuntaisten siirtymien pysyvän lähellä paalua. Tutkimuksessa ei saatu todisteita sille, että ylemmän kerroksen maata kulkeutuisi pystysuunnassa alemmille tasoille suuria määriä enää sen jälkeen, kun paalun kärki on läpäissyt savikerroksen. Tähän on todennäköisesti syynä se, että savikerrokset olivat lujuudeltaan heikompia kuin hiekkakerrokset. Ylemmän kerroksen hiekkaa pääsi tunkeutumaan heikomman savikerroksen sisään, kun taas alemman hiekkakerroksen ollessa lujuudeltaan suurempaa kuin savikerros, ei savea päässyt työntymään alaspäin yhtä suurta määrää.

Hyvin asennetun CFA-paalun aiheuttamat muodonmuutokset paalun ympärillä olivat pieniä verrattuna muodonmuutoksiin lyöntipaalujen ympärillä. Umpinaisia lyöntipaaluja käytettäessä oli helpompaa ennustaa maan muodonmuutoksia paalun ympärillä homogeenisen saven tai ohuiden maakerrosten tapauksessa kuin maaperässä, jossa oli useampi paksu kerros eri maalajeja. Hirdin et al. (2006) tutkimuksessa ei tutkittu ylikonsolidoituneita, hauraita tai halkeilleita savia, joiden osalta vaikutukset voivat poiketa saaduista.

4.2.2 Vettä huonosti johtavan maakerroksen vedenläpäisevyyden muutokset

Hird et al. (2006) tutkivat maan siirtymien ja muodonmuutosten lisäksi vettä huonosti johtavan maakerroksen pystysuuntaisen vedenläpäisevyyden muutoksia paalutuksen seurauksena. Koetilanne oli sama kuin muodonmuutoksia ja siirtymiä mitattaessa, mutta nyt mitattiin saven vedenläpäisevyyttä paalun asennuksen jälkeen.

Kuvassa 25 on esitetty periaate, jonka mukaan paalun mukana ylemmistä maakerroksista tuleva karkeampirakeinen maa-aines muodostaa paremmin vettä johtavan virtausreitit savikerroksen läpi. Paalutuksen seurauksena tapahtuvan maa-aineksen siirtymisen ja muodonmuutosten seuraukset voivat johtaa nimenomaan savikerroksen vedenläpäisevyyden muuttumiseen.



Kuva 25. Periaatekuva siitä, miten savikerroksen vedenläpäisevyys voi kasvaa karkeamman maa-aineksen tunkeutuessa saven sekaan. (Hird et al. 2006 mukaillen)

Kuvassa 25 esitetyssä periaatekuvassa paalun mukana savikerrokseen tunkeutuva karkearakeinen, paremmin vettä johtava maa-aines muodostaa eräänlaisen pilarin savikerroksen läpi. Tämän karkearakeisesta maa-aineksesta koostuvan pilarin kautta vettä pääsee virtaamaan vettä pidättävän savikerroksen läpi.

Tutkimuksissa huomattiin, että läpäistävän savikerroksen paksuuden ja paalun halkaisijan suhteella oli yhteys siihen millainen virtausreitti karkeammasta maa-aineksesta muodostui savikerroksen läpi. Jos umpinaisen, poikkileikkaukseltaan ympyrän muotoisen paalun läpäisemä savikerros oli ohuempi kuin kaksi kertaa paalun halkaisija, koko savikerroksen läpi muodostui ylemmästä hiekkakerroksen alaspäin siirtyneestä hiekasta hyvin vettä johtava virtausreitti. Savikerroksen ollessa paksumpi kuin kaksi kertaa paalun halkaisija, paalun mukana pääsi kulkeutumaan vähemmän karkearakeista maa-ainesta kuin ohuemman savikerroksen tapauksessa. Käytettäessä halkaisijaltaan 300 mm:n paalua, savikerroksen paksuuden tulisi olla yli 600 mm, jotta virtausreittiä ei muodostuisi. Kuvasta 20 voidaan nähdä, miten savikerroksen paksuus vaikuttaa hiekan siirtymiseen paalun mukana. Savikerroksen ollessa tarpeeksi paksu, hiekasta muodostuva virtausreitti ei ulotu koko savikerroksen läpi.

Käytettäessä H-paalua poikkileikkauksen laippojen väliin jäi runsaasti yllä olevan hiekkakerroksen karkeaa maa-ainesta, kuten kuvasta 21 voidaan nähdä. Tällainen tulppautumisilmiö riippuu monesta tekijästä, kuten maapartikkelien koosta ja maan suhteellisesta tiiveydestä, joten ilmiön laajuutta on vaikea ennustaa. Tutkimuksissa kuitenkin huomattiin, että tämän ilmiön vuoksi savikerroksen läpi muodostui virtauskanava, vaikka savikerroksen paksuus oli kahdeksan kertaa paalun leveys. Tällöin käytettäessä hal-

kaisijaltaan 300 mm:n paalua virtausreitti muodostuisi savikerroksen ollessa alle 2400 mm:ä paksu.

Poikkileikkaukseltaan neliön mallisten paalujen oletettiin käyttäytyvän kuten tutkitut sylinterimäiset paalut, sillä niiden aiheuttamat muodonmuutokset ja siirtymät maaperässä vastaavat toisiaan. Oikein asennettuna CFA-paalut eivät muodostaneet karkeammasta maa-aineksesta koostuvaa virtauskanavaa, jos savikerrosten paksuus oli suurempi kuin kaksi kertaa paalun halkaisija.

Jos paalutusta tehdään pilaantuneessa maaperässä, voi tällaisen virtausreitin syntyminen johtaa haitta-aineiden kulkeutumiseen pohjavesivyöhykkeeseen. Virtausreitin muodostumisesta voi myös seurata ohuen savikerroksen päällä olevan orsiveden tihkumista tai vuotamista alla oleviin maakerroksiin.

4.3 Haitta-aineiden pääsy pohjaveteen paalutuksen seurauksena

Haitta-aineita voi päästä pohjaveteen paalutuksen seurauksena, jos niitä on rakennettavan alueen maaperässä tai orsivesikerroksissa. Alueella esiintyvien haitta-aineiden määrä ja laatu riippuvat paljolti siitä, minkälaista toimintaa rakennettavalla alueella on aiemmin ollut. Rakennettavan alueen hydrogeologiset ominaisuudet taas vaikuttavat siihen, missä määrin ja miten lähellä maan pintaa pohjavettä esiintyy. Paalutuksen seurauksena voi mahdollisesti muodostua reitti haitta-aineiden ja pohjaveden välille. Tällaista lähde-reitti-vastaanottaja-yhteyttä kutsutaan englanninkielisessä kirjallisuudessa termillä *source-pathway-receptor-* eli *S-P-R-linkage*. (Westcott et al. 2001)

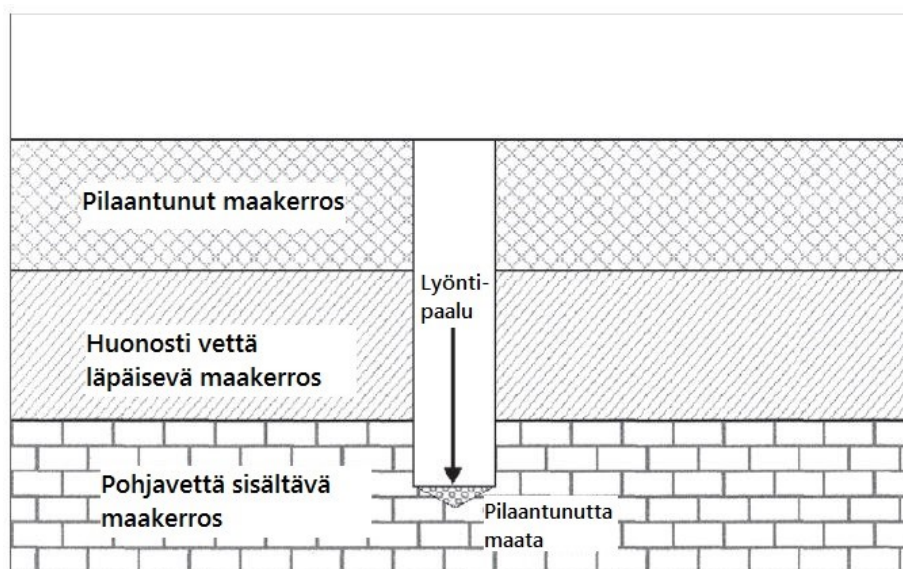
Tässä luvussa käsitellään potentiaalisia S-P-R-yhteyksiä EA:n julkaisemassa raportissa (Westcott et al. 2001) esitettyjen skenaarioiden kautta. Skenaarioita käsitellään aiheesta tehtyjen tutkimusten tulosten kautta. Kappaleissa 4.1 ja 4.2 kuvatut Hirdin et al. (2006) tutkimukset paalutuksen aiheuttamasta maakerrosten sekoittumisesta sekä virtausreitin muodostumisesta huonosti vettä johtavan kerroksen läpi liittyvät haitta-aineiden mahdollisiin kulkeutumismekanismeihin. Hirdin et al. (2006) tutkimuksen lisäksi tarkastellaan Hayman et al. (1993) ja Boutwell et al. (2000) tekemiä tutkimuksia haitta-aineiden siirtymisestä eri kuljetusmekanismeilla pilaantuneesta maaperästä pohjaveteen.

Hayman et al. (1993) simuloivat koetilanteissaan olosuhteita, jossa kerroksellisen maaperän läpi lyötiin terässauva sekä käsittelemätön puusauva. Molemmat sauvat olivat teräväkärkisiä. Hiekkakerrokset olivat karkeaa ja hienoa kvartsihiekkää, savi valusavea. Sauvat lyötiin pilaantuneen maakerroksen ja vettä huonosti läpäisevän kerroksen läpi hyvin vettä johtavaan maakerrokseen. Tutkimuksessa haitta-aineina käytettiin vettä raskaampia, orgaanisia haitta-aineita (DNAPL). Haymanin et al. mukaan aiheesta ei ole tehty aiempia tutkimuksia ennen vuotta 1993.

Boutwellin et al. (2000) tutkimuksissa jatkettiin tutkimuksia Haymanin et al. (1993) tutkimustulosten perusteella. Kokeet tehtiin testikammioissa ja kerroksellista maaperää mallinnettiin hiekka-savi-hiekka-kerroksilla. Tutkimuksissa käytettiin NaCl-liuosta (13,00 mg/l) simuloimaan haitta-aineita. Varsinaisten tutkimusten lisäksi Boutwell et al. tekivät myös hydrogeologisia laskelmia.

4.3.1 Pilaantuneen maa-aineksen kulkeutuminen pohjaveteen

Ison-Britannian EA:n raportissa (Westcott et al. 2001) nostetaan yhdeksi mahdolliseksi haitta-aineiden kulkeutumistavaksi pilaantuneen maa-aineksen kulkeutuminen alaspäin pohjavesivyöhykkeeseen paalun asennuksen aikana. Pilaantunutta maa-ainesta voi kulkeutua alaspäin maakerroksissa joko tasaisen paalun kärjen alla tai paalun laippojen välissä. Periaate tästä on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Periaate pilaantuneen maa-aineksen kulkeutumisesta alaspäin pohjavettä sisältävään kerrokseen paalun asennuksen aikana. (Westcott et al. 2003 mukailten)

Lyöntipaalun asennuksen aikana pääosa maan liikkeestä tapahtuu paalun sivuilla maan siirtyessä paalun tieltä, mutta on mahdollista, että paalun sivussa ja paalun kärjen alla oleva maa-aines voi siirtyä pystysuunnassa alaspäin ennen kuin siirtyy paalun kärjen alta paalun sivuille. Etenkin avoimet, putkimaiset paalut tai erilaisia ulokkeita sisältävät paalut, kuten poikkileikkaukseltaan H-kirjaimen, X-kirjaimen tai I-kirjaimen muotoiset paalut, voivat täyttyä ylempien maakerrosten maa-aineksella ja maa-ainesta siirtyy siten alempiin kerroksiin. (Westcott et al. 2001)

Haymanin et al. (1993) tutkimuksen perusteella vain rajallinen määrä haitta-ainetta kulkeutui alaspäin terässauvan asennuksen aikana. Käsittelemättömän puusauvan osalta

tutkimustuloksia saattoi sekoittaa haitta-aineiden imeytyminen puupaalun läpi. Tästä imeytymisilmiöstä kerrotaan enemmän kappaleessa 4.3.2. Haymanin et al. tutkimusten perusteella siirtymismekanismi on siis mahdollinen, mutta haitta-aineita ei siirtynyt pilaantuneen maa-aineksen mukana merkittäviä määriä.

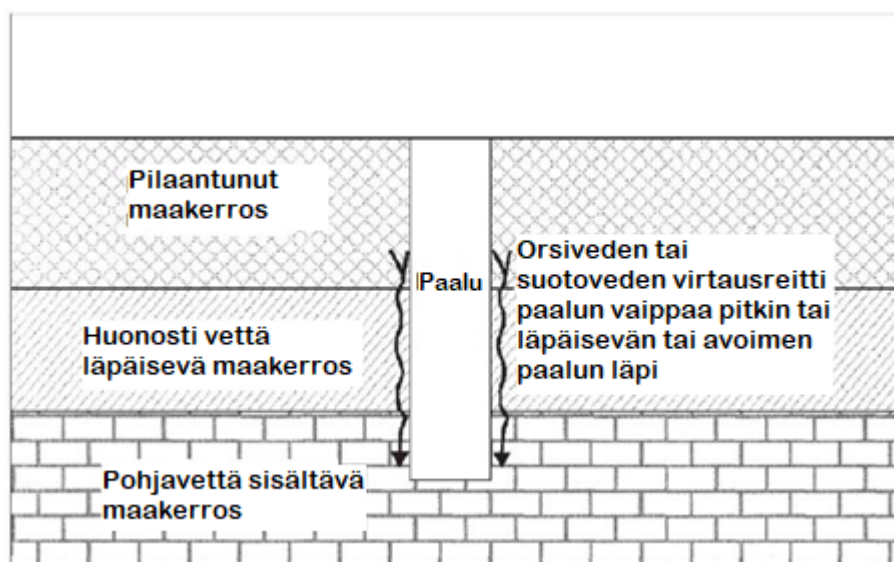
Boutwell et al. (2000) tutkivat laskelmien avulla paalun tasaisen päädyn alla siirtyvän maa-aineksen tilavuutta ja potentiaalisen siirtyvän haitta-aineen määrää. Alkuoletuksena oli, että lyöntipaalun tasaisen päädyn alla kulkeutuisi alaspäin kartion muotoinen massa ylemmän kerroksen maa-ainesta. Laskelmien perusteella pystysuunnassa saattoi alaspäin siirtyä tilavuudeltaan $0,15A^3$ verran maa-ainesta, kun A on paalun päädyn pinta-ala. Boutwellin et al. (2000) mukaan tällainen maa-aineksen siirtymismekanismi on merkityksetön haitta-aineiden siirtymisen kannalta, jollei maaperässä ole suuria haitta-ainepitoisuuksia tai maaperässä esiintyvät haitta-aineet pieninäkin pitoisuuksina vaarallisia. Käytettäessä tukipaalua, jonka kärki ei ole tasainen vaan terävä, maa-ainesta siirtyy huomattavasti vähemmän.

Hird et al. (2006) toteavat tutkimustulostensa perusteella, että paalutus voi aiheuttaa pilaantuneen maa-aineksen kulkeutumista alla oleviin maakerroksiin kolmella eri tavalla:

1. Pieni määrä pilaantunutta maa-ainesta voi kulkeutua alempiin kerroksiin umpinaisen paalun tasaisen kärjen alla. Tämä kuljetusmekanismi voidaan välttää käyttämällä teräväkärkistä paalua.
2. Maata voi kulkeutua alaspäin paalun asennuksen aiheuttamien maan muodonmuutosten ja siirtymien vuoksi. Tällöin ylemmän kerroksen karkearakeisempi maa-aines jää kuitenkin jo alapuolella olevan hienorakeisen kerroksen yläosaan. Tutkimustulosten perusteella tätä ylemmän kerroksen karkeampaa maa-ainesta kulkeutuu alempiin pehmeämpiin kerroksiin maksimissaan syvyydelle, joka on puolitoista kertaa paalun halkaisija tai leveys. Hird et al. tosin mainitsevat, että aiemmissä tutkimuksissa tämä tunkeutumissyvyys olisi ollut jopa kolme kertaa paalun halkaisija tai leveys.
3. Käytettäessä poikkileikkaukseltaan H-kirjaimen mallisia paaluja ylimmän kerroksen maata voi kulkeutua paalun laippojen välissä alaspäin. Tällöin paalun laippojen välissä olevaa maa-ainesta saattaa siirtyä paalun asennuksen aikana alempiin maakerroksiin.

4.3.2 Virtausreitin muodostuminen paalutuksen seurauksena

Toinen mahdollinen skenaario haitta-aineiden kulkeutumisesta pohjaveteen paalutuksen seurauksena, liittyy virtausreitin muodostumiseen huonosti vettä läpäisevän kerroksen läpi. Tällöin esimerkiksi pilaantuneiden maiden suotovesi voi päästä virtaamaan aiemmin vettä pidättäneen kerroksen läpi alempiin, paremmin vettä johtaviin kerroksiin. Periaate tästä skenaariosta on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Periaatekuva siitä, miten paalutus voi aiheuttaa virtausreitit synnyn huonosti vettä läpäisevän maakerroksen läpi. (Westcott et al. 2003 muokailen)

Tällaisessa tapauksessa haitta-aineiden lähde voi olla pilaantunut maaperä tai orsivesikerros ja vastaanottajana pohjavesivyöhyke. Kulkureitti näiden välillä voi muodostua paalun ja maaperän väliseen rajapintaan, koska maa häiriintyy paalun ympärillä ja maakerrokset sekoittuvat paalun asennuksen yhteydessä, kuten kappaleessa 4.2 esitetyn Hirdin et al. (2006) tutkimuksen tulokset osoittivat.

Haymanin et al. (1993) tutkimuksissa paalua kuvaava sylinterimäinen terässauva ei muodostanut virtausreittiä. Syyksi oletettiin savikerroksen muokkautuvan sivupaineen alaisena, jolloin heti paalun asennuksen jälkeen savikerroksen ja paalun välille muodostui luja ja pitävä painekontakti. Tutkitut haitta-aineet eivät päässeet kulkeutumaan alempaan kerrokseen pitkänkään ajan kuluessa, vaikka haitta-aineet olivat vettä raskeampia. Hayman et al. (1993) eivät tutkineet savikerroksen paksuuden ja paalun halkaisijan yhteyttä virtausreitit synnyssä, kuten Hird et al. (2006) tekivät, joten tulokset voivat selittyä myös sillä, että savikerros oli riittävän paksu suhteessa terässauvan halkaisijaan. Haymanin et al. tutkimuksissa savikerros oli 30 tuumaa (76,2 cm) paksu sauvojen halkaisijoiden ollessa puoli tuumaa (1,3 cm). Näin ollen savikerroksen paksuus oli 60-kertainen verrattuna sauvan halkaisijaan. Käytettäessä halkaisijaltaan 300 mm:n paalua, savikerros olisi paksuudeltaan 18 metriä. Hirdin et al. (2006) tutkimustulosten perusteella merkittävä virtausreitti haitta-aineille voi syntyä, jos karkeampaa maainesta pääsee työntymään poikkileikkaukseltaan ympyrän tai neliön muotoisen paalun mukana savikerroksen läpi savikerroksen ollessa ohuempi kuin kaksi kertaa käytetyn paalun halkaisija.

Boutwellin et al. (2000) tutkimuksissa käytettiin pyöreää käsittelemätöntä puupaalua, käsiteltyä puupaalua, metallista pyöreää paalua sekä H-kirjaimen muotoista paalua. Kaikissa paaluissa oli tasainen kärki. Vertailutilanteena oli koetilanne, jossa ei ollut paa-

lua ollenkaan. Kokeissa huomattiin, että pyöreän teräspaalun ja käsitellyn puupaalun tapauksessa ei NaCl:n virtausta savikerroksen läpi alempiin kerroksiin havaittu. Poikkeileikkaukseltaan H-kirjaimen muotoista paalua käytettäessä virtausta kuitenkin tapahtui, samoin käsittelemättömän puupaalun tapauksessa. Tutkimuksessa virtauksen syntymisen H-paalun tapauksessa arveltiin johtuvan siitä, että koska H-paalu syrjäyttää vähemmän maata asennuksen aikana kuin sylinterimäinen paalu, muodostuvat sivupaineet ovat H-tapauksessa pienemmät. Näin ollen savikerroksen ja paalun välille ei muodostu yhtä tiukkaa kontaktia kuin sylinterimäisen paalun ollessa kyseessä. Hird et al. (2006) toteavat kuitenkin tutkimuksensa tuloksissa, että todennäköisesti H-paaluilla virtausreitit muodostuu paksumpienkin savikerrosten läpi siksi, että paalun laippojen väliin jää karkeampaa maa-ainesta.

Hayman et al. (1993) tutkivat myös sitä, voiko käsittelemättömän puusauvan läpi imeytyä kapillaarisesti haitta-aineita. Tutkimuksissa huomattiin, että käsittelemättömien puusauvojen läpi kulkeutui haitta-aineita tasaisella nopeudella. Käsittelemättömät puupaalut voivat siis muodostaa mahdollisen kanavan haitta-aineiden kulkeutumiselle. Boutwell et al. (2000) jatkoivat Haymanin et al. tutkimuksia. Tulosten perusteella käsittelemättömän puupaalun läpi pääsi virtaamaan haitta-aineena käytettyä NaCl-liuosta, toisin kuin käsitellyn puupaalun tai ympyränmuotoisen metallipaalun tapauksessa. H-paalun tapauksessa muodostui virtausreitti karkeammasta maa-aineksestä, ei itse paalumateriaalin läpi.

Hayman et al. (1993) toteavat, että tutkimustulosten sovellettavuutta käytännössä on hankalaa arvioida. Lisää tutkimusta tarvitaan esimerkiksi erilaisten haitta-aineiden reagoimisesta savipartikkelien kanssa sekä paalun epäjatkuvuuskohtien merkityksestä. Sekä Boutwell et al. (2000) ja Hird et al. (2006) ovat samaa mieltä siitä, että koska tutkimustuloksia paalutuksesta johtuvasta haitta-aineiden siirtymisestä on saatavilla vain vähän, voi haitta-aineiden siirtymismekanismeihin liittyä useita tekijöitä, joiden vaikutuksista ei voida varmuudella sanoa mitään.

4.4 Paalujen materiaalien mahdolliset vaikutukset pohjaveden laatuun

Paalumateriaalien osalta tässä selvityksessä tarkastellaan teräs- ja betonipaalujen korroosiosta aiheutuvia mahdollisia laadunmuutoksia pohjavedessä sekä puupaalujen suoja-aineisiin liittyviä vaikutuksia.

Korroosiolla tarkoitetaan rakennemateriaalien kemiallista tai sähkökemiallista tuhoutumista ympäristöolosuhteista ja muista tekijöistä johtuen (Yläsaari 2004, s. 17). Paalujen korroosioriskin arvioimiseksi ympäristöolosuhteiden aggressiivisuus tulee arvioida. PLO-2011 mukaan tavanomaisesta poikkeavia ja potentiaalisia aggressiivisia olosuhteita ovat esimerkiksi runsaasti orgaanista ainesta tai rikkiä sisältävät maakerrokset, pilaantunut maaperä ja sellaiset maa-alueet, joilla esiintyy tasavirtalähteiden aiheuttamia

potentiaalienttiä. (PLO-2011, s. 42) Tällaiset olosuhteet kasvattavat joko materiaalien korroosioriskiä tai korroosionopeutta.

Hienorakeiset ja eloperäiset maalajit ovat teräspaalujen korroosion kannalta merkittävä riskiryhmä (Korhonen & Hietanen 2008, s. 318). Tiiviisiin saviin ei pääse juurikaan happea, joten korroosionopeus on pieni ja korroosio jää sen vuoksi vähäiseksi (Leppänen 1992, s. 70). Sulfidisavissa mahdollinen mikrobiologinen korroosio on savimaissa merkittävä korroosioriskitekijä. Korroosiota tapahtuu enemmän häiriintyneessä maassa, täyttömaassa sekä pilaantuneessa maaperässä kuin luonnontilaisessa maassa (Leppänen 1992, s. 190). Merkittävää korroosiota tapahtuu tavallisesti vain pohjavedenpinnan yläpuolella, koska pohjavedenpinnan alapuolella maan huokokset ovat täyttyneet vedellä ja maa-aineksen happipitoisuus on pieni. Pohjavedenpinnan alapuolella korroosion kannalta merkittävää onkin pohjaveden syövyttävyys. (Leppänen 1992, s. 60, 180) Suomalaiset pohjavedet sisältävät usein paljon hiilidioksidia ja rautaa, ja paikoitellen myös kloridipitoisuus voi olla korkea teiden talvikunnossapidossa käytetyn suolauksen takia. Etenkin korkean hiilidioksidipitoisuuden takia suomalaiset pohjavedet ovat melko syövyttäviä. (Kurkela 2008, s. 247)

Teräksen korroosiossa teräksestä irtoaa rautaa rautaioneina, jotka voivat neutraaleissa tai emäksisissä olosuhteissa reagoida muodostaen rautahydroksidia. Rautahydroksidin hapettua metallin pinnalle muodostuu ruostetta. Ruoste on rautaoksidien ja rautahydroksidien seos. Teräksen korroosiotuotteet muodostavat pintaan korroosion etenemistä hidastavan pinnan. Veden virtaus voi kiihdyttää korroosiota irrottamalla korroosiotuotteen eli ruosteen pinnasta ja tuomalla happipitoista vettä reaktiopinnalle. (Leppänen 1992, s. 15-16) Korroosiota voi tapahtua myös talousvettä kuljettavissa putkistoissa ja tällöin ongelma on putkien syöpyminen ja tästä johtuva veden värjäytyminen eikä korroosiotuotteiden myrkyllisyys.

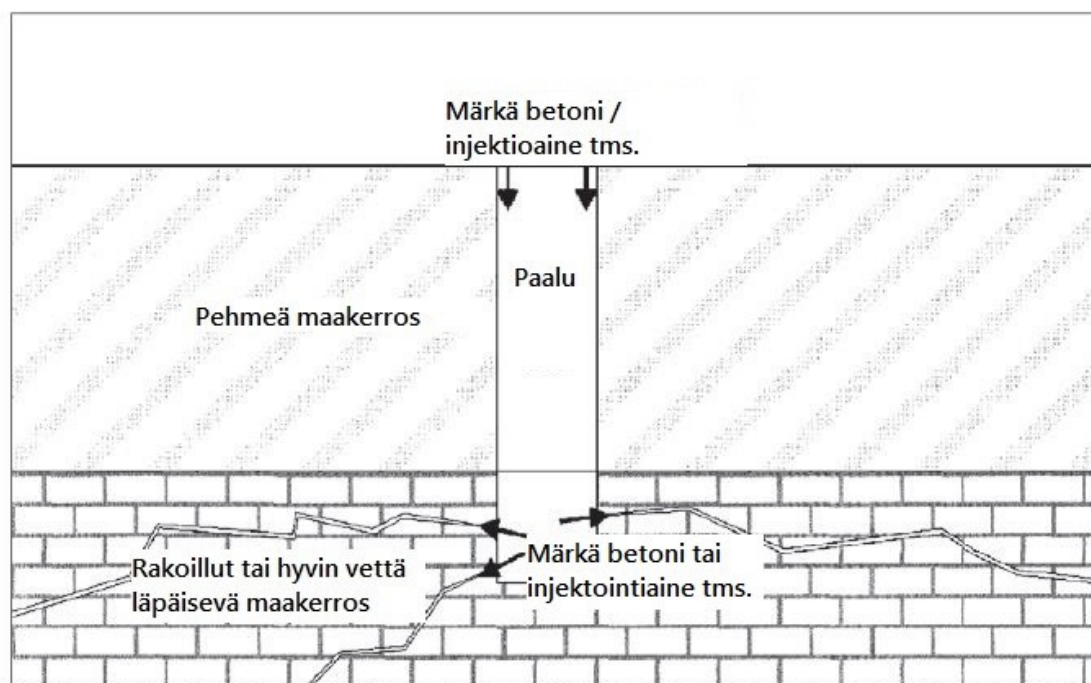
Betonin kemiallisessa korroosiossa betoniin muodostuu sementtikiven hydrataatituotteita paisuttavia tai liuottavia yhdisteitä, jolloin betonirakenne vahingoittuu (Haalahti 2015, s. 19). Betonin kannalta aggressiivisia aineita ovat maassa, pohjavedessä tai täyttömaassa esiintyvät hapot ja sulfaattisuolat (PLO-2011, s. 41). Syöpymisen lisäksi betonipaalut voivat aiheuttaa pH:n nousua pohjavedessä betonin emäksisyyden takia. Betonin emäksisyys johtuu sementin hydrataatiossa syntyvästä kalsiumhydroksidista ja helppoliukoisista kalium- ja natriumsuoloista. (Kukko 2008, s. 425) Suomen pohjavedet ovat normaalisti hieman happamia, joten veden puskurikapasiteetin vuoksi pH:n muutos betonipaalujen ympäristössä ei ole kovinkaan merkittävä. Pohjaveden pH:n nousu voisi vaikuttaa esimerkiksi teräksen korroosioon siten, että rautaionit saostuisivat ruosteeksi teräksen pinnalle sen sijaan että liukenisivat veteen.

Pohjaveden virtausnopeus savessa, savimoreeneissa sekä siltissä on pieni (Mälkki 1999, s. 38). Vaikka korroosiotuotteita pääsisi teräksen syöpymisen yhteydessä pohjaveteen,

pohjaveden laadun muutosten tai pH:n nousun voidaan olettaa tavallisissa oloissa pysyvän paikallisina (Liikennevirasto 2012, s. 70).

Puupaaluille syöpymisriskiä aiheuttavat sienet ja aerobiset bakteerit, mutta tällöin saatavilla on oltava tarpeeksi happea (PLO-2011, s. 41). Puupaalut kestävät melko hyvin, jos niitä pidetään jatkuvasti pohjaveden pinnan alapuolella. Jos pohjavedenpinnan taso laskee, joutuvat puupaalut mikro-organismien hyökkäyksen kohteeksi ja etenkin sienet vähentävät puun lujuutta suhteellisen nopeasti. (Juvankoski & Viitanen 1989, s. 18, 19) Erilaisten myrkyllisten suoja-aineiden, kuten boorin, käyttö puupaalujen steriloisemiseksi ja lahonaiheuttajien tappamiseksi on etenkin menneinä vuosina muodostanut riskin pohjaveden laadulle. Suoja-aineiden annostelu juuri oikeaan kohteeseen on kuitenkin vähentänyt niiden ympäristövaikutuksia. (Juvankoski & Viitanen, s. 112-113) Puupaalujen käyttö on nykyään hyvin vähäistä ja paalutusta käytetään perusratkaisuna lähinnä vain hienorakeisissa maalajeissa, joissa pohjavedenvirtaus on lähes olematonta, joten mahdolliset haitat ovat todennäköisesti vain paikallisia.

Ison-Britannian EA:n raportissa on riskitekijäksi tunnistettu myös tilanne, jossa märkää betonia tai injektioainetta voi joutua pohjaveteen paalun asennuksen yhteydessä. Pohjaveden pH voi nousta paikallisesti betonin emäksisyyden vuoksi. Betonia voi päästä pohjaveteen esimerkiksi avoimesta putkipaalusta, joka täytetään betonilla sisäpuolisen korroosion estämiseksi. Esimerkki tällaisesta skenaariosta on esitetty kuvassa 28.

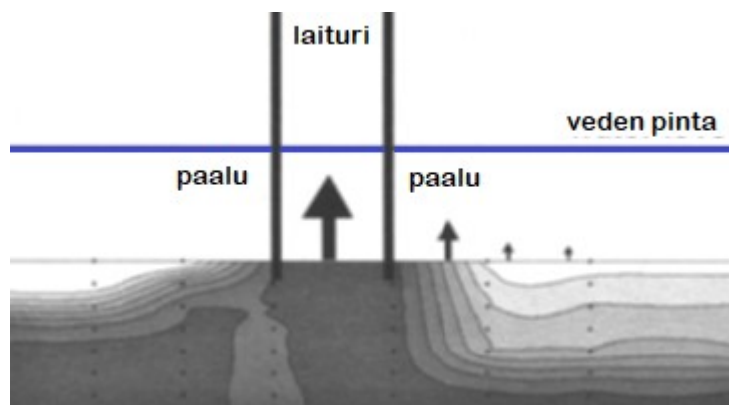


Kuva 28. Periaate märän betonin tai injektioaineen joutumisesta pohjaveteen paalun asennuksen yhteydessä. (Westcott et al. 2003)

Jotta märkää betonia tai injektioainetta pääsisi paalun asennusvaiheessa pohjaveteen, tulee alempana olevien maakerrosten olla huokoisia tai erittäin hyvin vettä johtavia. Hyvin vettä johtavassa sora- ja hiekkamuodostumassa pohjaveden virtausnopeus voi olla riittävän suuri, jotta märkää betonia tai injektioainetta voi kulkeutua sen mukana kauemmas. Sora- ja hiekkamuodostumassa on kuitenkin harvoin tarvetta paalutukselle. Iso-Britannian maaperässä tyypilliset, isoja huokosia sisältävät kivilajit (kalkkikivi ja liitukivi) voivat muodostaa riskin märän betonin tai injektioaineen kulkeutumiselle. Betonin kovettumisaika vaihtelee muutamista minuuteista muutamaan tuntiin, joten märän betonin vaikutukset pysyisivät todennäköisesti paikallisina. (Westcott et al. 2001) Avoimen putkipaalun kärkeen voi lyötäessä muodostua tiivis maatulppa, joka estää betonin kulkeutumisen (Tiehallinto 1999).

4.5 Paalutuksen mahdolliset seuraukset paineellisen pohjaveden alueella

Paalutuksen seurauksista paineellisen pohjaveden alueella esitellään yksi tapausesimerkki. Yhdysvalloissa Shelter Islandissa huomattiin, että paineellista pohjavettä pääsi purkautumaan vedenalaisesti satamalaiturin perustuspaalujen lähistöllä. Tilannetta tutkittiin sekä kartoittamalla maan sähkönjohtavuutta että suorilla veden virtausnopeuden mittauksilla. Kuvassa 29 on esitetty nuolten avulla veden virtauksen voimakkuus juuri laiturin paalujen läheisyydessä.



Kuva 29. Paineellisen pohjaveden virtaus laiturin alla lähellä paaluja. Nuolten koko kuvaa veden virtauksen voimakkuutta verrattuna veden virtaukseen vastaavalla paikalla. (Stieglitz et al. 2007 mukaillen)

Tutkimustulosten perusteella huomattiin, että satamalaiturin perustuksissa käytetyt paalut olivat joko puhkaisseet veden pohjassa olevan ohuen vettä salpaavan maakerroksen tai salpaava maakerros oli muuten vaurioitunut paalutustyön aikana. Kyseinen esiintymä oli ainakin osittain paineellinen pohjavesiesiintymä ja salpaavan kerroksen puhkeaminen johti huomattavaan vedenalaiseseen pohjaveden purkautumiseen. (Stieglitz et al. 2007) Paineellista pohjavettä purkautuu niin kauan, että pohjaveden paine laskee vallitsevan ilmanpaineen suuruiseksi.

Jos paineellista pohjavettä salpaava maakerros puhkeaa, se luonnollisesti vaikuttaa myös alueen pohjaveden määrään. Kuten kappaleessa 3.5. todettiin, pohjaveden määrän muutokset voivat vaikuttaa myös sen laatuun.

4.6 Yhteenveto paalutuksen vaikutuksista pohjaveteen

Paalutustyöt ovat olleet yleisiä kaupunkialueilla viimeisen vuosisadan aikana. Ilmentyneitä pohjaveden pilaantumistapauksia juuri paalutuksen seurauksena ei Ison-Britannian EA:n raportin mukaan ainakaan Isossa-Britanniassa ole. Raportissa nostetaan kuitenkin esiin se, että suurimmalla osalla työmaista pohjaveden laatuun ja määrään liittyvä valvonta on riittämätöntä sekä varsinaisten rakennustöiden aikana että niiden jälkeen. Tutkimustuloksia paalutuksen seurauksista muualla kuin koetilanteissa ei ole. (Westcott et al. 2001)

Tehdyt tutkimukset keskittyvät mahdolliseen haitta-aineiden siirtymiseen pohjaveteen paalutuksen seurauksena. Haitta-aineiden määrä maaperässä riippuu maan aiemmasta käytöstä. EA:n mukaan haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen on eräs mahdollinen ympäristöriski, jos työmaa sijaitsee pohjavesialueella, pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa ja paalutus voi rikkoa huonosti vettä läpäisevän kerroksen (Westcott et al. 2001). On kuitenkin tärkeää huomata, että pohjaveden pilaantumista voi tapahtua vain, jos haitta-aineiden ja pohjavesiesiintymän välille voi muodostua paalutuksen seurauksena yhteys.

Suomessa on voimassa maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuus: ”Se, jonka toiminnasta on aiheutunut maaperän tai pohjaveden pilaantumista, on velvollinen puhdistamaan pilaantuneen maaperän ja pohjaveden (pilaantunut alue) siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.” (YSL 527/2014, 133 §). Maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuuteen liittyy selvitysvelvollisuus ja puhdistamistarpeen arviointi, jos alueella on aiheutta epäillä maaperän tai pohjaveden pilaantumista (YSL 527/2014, 135 §). Näin ollen rakennettaessa alueelle, jonka maaperässä epäillään aiemman toiminnan tai muun syyn takia olevan haitta-aineita, tulee alueen puhdistustarve arvioida ja tarvittaessa maaperä puhdistaa ennen rakennustöiden aloittamista.

Boutwell et al. (2000) toteavat, että heidän tutkimuksensa perusteella lyöntipaalutusta voidaan käyttää perustusratkaisuna myös aiemmin teollisuuskäytössä olleilla maa-alueilla (*”brown field sites”*) ilman riskiä haitta-aineiden siirtymisestä pohjaveteen, mutta oikeanlaisen paalutyypin valinnalla on merkitystä.

Paalumateriaalin tulisi olla huonosti vettä läpäisevää, esimerkiksi terästä, jotta haitta-aineet eivät pääse imeytymään materiaalin läpi. Haymanin et al. (1993) ja Boutwellin et al. (2000) tutkimusten perusteella käsittelemättömän puupaalun läpi voi tapahtua veden ja veden mukana kulkevien haitta-aineiden virtausta.

Kärjestään terävää paalua käytettäessä maa-ainesta ei suoraan siirry paalun kärjen alla. Vaikka paalu olisi tasakärkinen, haitta-aineita ei pääse kulkeutumaan alaspäin kärjen alla suuria määriä. Riski on olemassa vain, jos haitta-aineiden pitoisuus maaperässä on suuri tai haitta-aineet ovat pieninäkin pitoisuuksina haitallisia.

Virtauskanavan muodostuminen paalutuksen seurauksena on suurempi riski pohjaveden laadulle kuin paalun asennuksen aikana pilaantuneen maa-aineksen siirtyminen. Hirdin et al. (2006) tutkimustulosten perusteella umpinaisen, sylinterimäisen paalun tapauksessa tällainen virtauskanava voi muodostua vain jos vettä huonosti johtavat kerrokset ovat ohuempia kuin kaksi kertaa käytetyn paalun halkaisija. Saman voidaan olettaa pätevän neliön mallisiin paaluihin. H-profiiliset paalut taas voivat muodostaa virtausreitit jopa kahdeksan kertaa paalun halkaisijan paksuisen savikerroksen läpi, joten niiden käyttöä pohjavesialueella on syytä välttää. Samoin muutkin paalut, joiden poikkileikkauksessa on ulkonevia osia, voivat kuljettaa laippojen välissä karkeampaa ainesta saven läpi.

Paalumateriaaleihin liittyvät riskit pohjaveden laadulle ovat pieniä ja lähes poikkeuksetta pysyvät paikallisina. Esimerkiksi teräksen korroosiotuotteet eivät pienissä määrin ole myrkyllisiä vaan pikemminkin esteettinen haitta talousvedelle.

Paalutukseen liittyvä tutkimus on liittynyt lähinnä rakenteiden kestävyys- ja toimivuuteen. Osaa näistä tutkimustuloksista voidaan toki käyttää arvioitaessa mahdollisia paalutuksen aiheuttamia vaikutuksia maaperässä. Esimerkiksi tutkimukset jännitysten jakautumisesta sekä tiheyden muutoksista maata syrjäyttävien paalujen ympärillä voivat antaa viitteitä maaperän vedenläpäisevyyden muutoksista paalutuksen seurauksena. (Westcott et al. 2001) Lisää tutkimusta koskien paalutuksen vaikutuksia pohjaveteen kuitenkin tarvitaan.

Myöskään muiden paalumateriaalien kuin puun ja teräksen osalta tutkimuksia ei tehty. Käytössä on myös betonipaaluja, joten haitta-aineiden kulkeutumista betonin läpi olisi tarpeellista tutkia. Oikein suhteutetun ja tiivistetyn betonin vedenläpäisevyys on pieni, mutta virheet betonipaalujen valmistuksessa tai paikalla valettujen paalujen teossa voivat johtaa betonin vedenläpäisevyyden muutoksiin.

Tässä selvityksessä ei käsitellä tarkemmin haitta-aineiden kulkeutumismekanismeja pohjaveteen ja pohjavedessä. Haitta-aineen laadulla on kuitenkin merkitystä kun tarkastellaan riskejä haitta-aineiden mahdolliselle kulkeutumiselle paalutuksen seurauksena. Hayman et al. (1993) käyttivät tutkimuksissaan haitta-aineena DNAPL-yhdisteitä (*”dense non-aqueous phase liquids”*). DNAPL-yhdisteet ovat tiheydeltään vettä raskaampia orgaanisia yhdisteitä, joiden liukoisuus veteen on pieni. Ne esiintyvät maaperässä erillisessä nestefaasissa. Tyypillisiä DNAPL-yhdisteitä ovat kreosoottia sisältävät kyllästysaineet, PCB-yhdisteitä sisältävät muuntajaöljyt sekä erilaiset klooratut liuottimet. DNAPL-yhdisteet ovat vettä tiheimpiä ja voivat kulkeutua maaperässä syvälle

pohjavedenpinnan alapuolelle, jossa ne hitaasti liukenevat virtaavan pohjaveden sekaan. (Kueber et al. 2003)

Boutwell et al. (2000) käyttivät tutkimuksissaan NaCl-liuosta, jonka konsentraatio oli 13,00 mg/l . NaCl-liuosta käytettiin laboratorioturvallisuuden sekä helpon mittaustekniikan takia. Suolaliuoksessa natrium- ja kloridi-ionit ovat lienneet veteen. Hird et al.(2006) mittasivat kokeissa savikerroksen vedenläpäisevyyden muutoksia sekä ennen paalun asennusta että paalun asennuksen jälkeen sen sijaan, että olisivat käyttäneet kokeissaan varsinaisia haitta-aineita. Hirdin et al. ja Boutwellin et al. tutkimustuloksiin viitaten voidaan karkealla tasolla olettaa tutkimustulosten pätevän sekä veteen liukenevilla että liukenemattomilla, vettä raskaammilla yhdisteillä.

Lisätutkimuksia tarvitaan haitta-aineiden osalta. Esimerkiksi LNAPL-yhdisteet ovat orgaanisia, tiheydeltään vettä kevyempiä yhdisteitä, jotka eivät juurikaan liukene veteen. LNAPL-yhdisteisiin kuuluvat mm. bensiini ja polttoöljy, jotka ovat yleisiä orgaanisia haitta-aineita maaperässä. Koska LNAPL-yhdisteiden tiheys on pienempi kuin vedellä, ei haitta-aineita pääse kulkeutumaan pohjavedenpinnan alapuolelle, vaan niitä esiintyy lähinnä osittain kyllästyneissä vyöhykkeissä. (Tomlinson et al. 2014)

5. KYSELYTUTKIMUS

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten (ELY-keskusten) sekä Suomen ympäristökeskuksen pohjavesiasiantuntijoille suunnatulla kyselyllä selvitettiin, millaisia pohjaveden laadun ja määrän muutoksiin liittyviä riskejä asiantuntijat yhdistävät pohjavesialueelle rakentamiseen. Lisäksi kyselyllä kartoitettiin mm. sitä, millaisia paineita pohjavesialueille rakentamiseen on eri puolilla maata ja onko pohjavesialueille rakentamista koskeva ohjeistus riittävää.

5.1 Kyselytutkimuksen toteutus

Kyselytutkimus tehtiin sähköisesti. Kutsu kyselyyn lähetettiin useille pohjaveden kanssa työskenteleville asiantuntijoille. Asiantuntijoiden yhteystiedot saatiin ELY-keskusten Ympäristöasioiden asiakaspalvelun sekä ELY-keskusten ja Suomen ympäristökeskuksen internet-sivujen asiantuntijahakupalvelun kautta. Kyselyä saattoi myös jakaa kollegoille avoimen internet-linkin kautta. Kysely lähetettiin 47 sähköpostiosoitteeseen. Kymmenen kutsun saanutta ilmoitti, että heidän vastuualueensa ei suoranaisesti koske rakentamista pohjavesialueella. Vastaajia oli 12, joista 5 vastasi kyselyyn suoraan sähköpostissa olevan linkin kautta ja 7 avoimen internet-linkin kautta.

Vastausprosenttia on haastavaa laskea sen mukaan, kuinka moni kyselykutsun saaneista vastasi kyselyyn, sillä osa kutsun saaneista henkilöistä ei omassa työssään käsitellyt rakentamiseen liittyviä asioita. Osa vastaajista taas vastasi kyselyyn avoimen internetlinkin kautta. Vastausprosentti on laskettu sen mukaan, kuinka monesta toimipisteestä vastauksia saatiin suhteessa kaikkiin toimipisteisiin. ELY-keskuksia on tällä hetkellä yhteensä 15, joista Satakunnan ja Pohjanmaan ELY-keskusten vastuualueeseen ei kuulu ympäristö- ja luonnonvarat. Toimipisteitä Suomen ympäristökeskus (SYKE) mukaan lukien on 14, joista vastauksia tuli 10 toimipisteestä. Vastausprosentti toimipisteittäin tarkasteltuna on noin 70 %.

Kysymyksiä oli kymmenen, joista seitsemän oli avoimia kysymyksiä. Ensimmäisellä kolmella monivalintakysymyksellä kartoitettiin perustietoja vastaajien toimipaikasta ja työtehtävistä. Tulosten käsittelyssä kahdeksan kysymyksen vastauksen yhteydessä on mainittu vastaajan toimialue. Kaksi kysymystä on mielipidekysymyksiä, joiden vastaukset on esitetty nimettöminä. Kaikki vastaajista eivät vastanneet kaikkiin kysymyksiin.

Kysymykset vastauksineen on esitetty liitteessä A. Tulosten tarkastelussa on nostettu esiin tärkeimpiä vastauksissa ilmenneitä asioita.

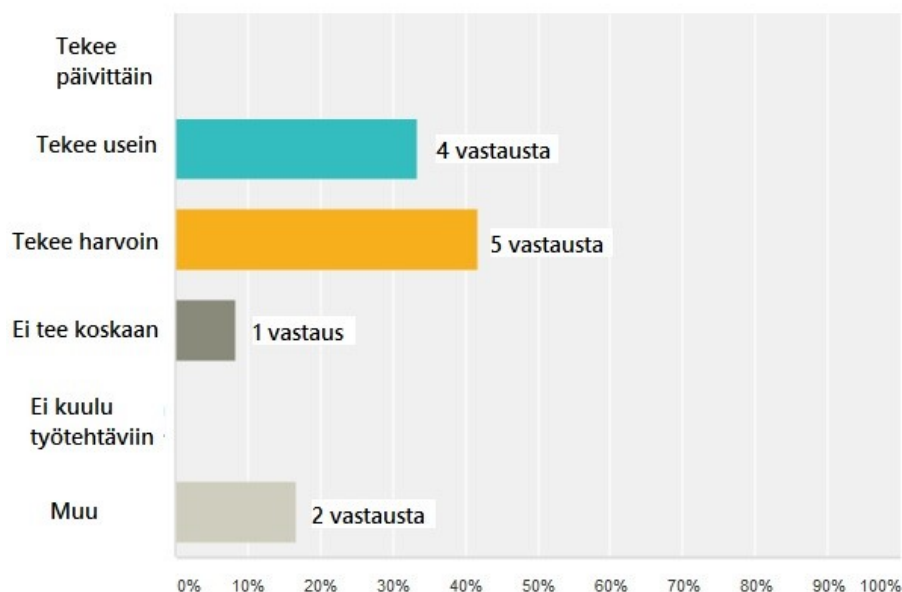
5.2 Vastaajien työnkuva koskien rakentamista pohjavesialueella

Vastauksia tuli yhdeksästä ELY-keskuksesta sekä Suomen ympäristökeskuksesta. Vastaajat työskentelivät Etelä-Pohjanmaan, Etelä-Savon, Hämeen, Kaakkois-Suomen, Kainuun, Keski-Suomen, Pirkanmaan, Uudenmaan sekä Varsinais-Suomen ELY-keskuksissa ja Suomen ympäristökeskuksessa. Hämeen ELY-keskuksesta vastauksia tuli kaksi, samoin Suomen ympäristökeskuksesta. Kuvassa 30 on esitetty viivoitettuna ne ELY-keskukset, joista vastaukset on saatu.



Kuva 30. Kartassa on esitetty viivoitettuna ne ELY-keskusten toimipisteet, joiden osalta kyselyyn vastattiin. (ELY-keskus 2016)

Kuvassa 31 on esitetty vastausjakauma kysymykseen, kuinka usein vastaajat tekivät työssään lausuntoja tai selvityksiä liittyen rakentamiseen pohjavesialueella.



Kuva 31. Vastaukset kysymykseen, kuinka usein vastaajat tekivät työssään lausuntoja tai selvityksiä liittyen rakentamiseen pohjavesialueella.

Kymmenen vastaajaa eli 83 % vastaajista teki työssään lausuntoja tai selvityksiä liittyen rakentamiseen pohjavesialueella. Heistä neljä teki tällaisia lausuntoja tai selvityksiä usein ja viisi harvoin. Yksi vastaajista kertoi vastauksessaan tekevänsä selvityksiä tai lausuntoja melko usein. Kaksi vastaajaa eli 17 % vastaajista ei tehnyt tällaisia lausuntoja tai selvityksiä ollenkaan. Toinen heistä kertoi lisätiedoissa tekevänsä usein pohjavesialueisiin liittyviä töitä, mutta ei rakentamista koskevia lausuntoja.

5.3 Vastaajien vastuualueella olevat pohjavesialueet

Kyselyssä selvitettiin, millaisia pohjavesialueita vastaajilla on vastuualueellaan. Tähän kysymykseen vastaaja sai valita useamman vastausvaihtoehdon. Taulukossa 1 on esitetty, minkälaisia pohjavesialueita vastaajilla on vastuualueellaan.

Taulukko 1. Vastaajien vastuualueella olevien pohjavesiesiintymien luokittelu.

ELY-keskus	Laajoja, tärkeitä pohjavesialueita	Pieniä, tärkeitä pohjavesialueita	Useita pohjavesialueita, joilla on vähäistä käyttöä
Etelä-Pohjanmaa	X		
Etelä-Savo	X		
Häme (2 vastausta)	X	X	X
Kaakkois-Suomi	X		
Kainuu	X	X	X
Keski-Suomi	X	X	X
Pirkanmaa	X		
Uusimaa	X	X	X
Varsinais-Suomi	X	X	X

Kuten taulukosta 1 nähdään, kaikilla ELY-keskuksissa työskentelevillä vastaajilla oli vastuualueellaan laajoja, tärkeitä pohjavesialueita (83 % kaikista vastaajista). Pieniä, tärkeitä pohjavesialueita sekä useita pohjavesialueita, joilla on vähäistä käyttöä, oli vastuualueellaan kuudella ELY-keskusten asiantuntijoista (50 % kaikista vastaajista).

Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijoista toinen vastasi, että hänellä ei ole vastuulla viranomaistehtäviä. Toinen SYKE:n asiantuntija vastasi: ”Vastuualueeni tehtävät koskevat sekä laajoja että pieniä pohjavesialueita ja pohjaveden suojelua kokonaisuutena. Tehtäväkenttänä koko Suomi. ”

Vastaajilta kysyttiin, että jos heidän vastuualueellaan on erityisen haavoittuvia pohjavesialueita, ovatko pohjavesiesiintymät haavoittuvia siksi, että niille on sijoittunut paljon riskitoimintoja vai johtuuko haavoittuvuus lähinnä geologisista syistä. Vastauksia kysymykseen tuli 11, joista jokaisessa mainitaan pohjavesiesiintymien olevan haavoittuvia juuri niille sijoitettujen riskitoimintojen vuoksi. Riskitoimintoja ei jokaisessa vastauksessa eritelty tarkemmin, mutta sekä tiestö että asutus pohjavesialueella nostetaan haavoittuvuutta lisääväksi tekijäksi. Lisäksi korostetaan sitä, että jos riskitoimintoja esiintyy lähellä vedenottamoita, se lisää pohjavesiesiintymien haavoittuvuutta.

Puolet vastaajista kertoo pohjavesiesiintymän geologisten olosuhteiden vaikuttavan pohjavesiesiintymän haavoittuvuuteen. Esimerkiksi pohjavettä suojaavat maaperäkerrokset saattavat olla ohuita ja vaikka nämä maaperäkerrokset olisivat paksujakin, ne ovat hyvin vettä johtavia ja sen vuoksi pohjavesi vaarantuu helposti. Pohjavesialueilla saattaa olla myös eri tavalla haavoittuvia osa-alueita. Lisäksi paineelliset pohjavesivyöhykkeet muodostavat yhden riskitekijän.

Otteita vastauksista:

”Haavoittuvuus liittyy siihen, että pohjavesialueella on taajama-alue, tie, pilaantunut maa-alue, polttonesteen jakeluasema tai muu riskitoiminto. Erityisen haavoittuvat pohja-vesialueet sijaitsevat taajama-alueella.”

– Kainuun ELY-keskus

”Toiminta-alueemme pohjavesialueista useat sijaitsevat lähellä asutusta tai niiden läpi menee maanteitä.”

– Varsinais-Suomen ELY-keskus

”Molemmat tekijät vaikuttavat. Pohjavesialueet ovat aina erityisen haavoittuvia ja hyvän rakennuspohjan omaavina niille on jo vanhastaan sijoittunut paljon ihmistoimintaa riski-toiminnot mukaan lukien.”

– Suomen ympäristökeskus

5.4 Rakentaminen pohjavesialueilla

Vastaajilta kysyttiin, onko heidän vastuualueellaan paljon kiinnostusta pohjavesialueille rakentamiseen. Vastauksia tähän tuli yksitoista. Puolet vastaajista ilmoittaa kiinnostusta olevan paljon ja muissakin vastauksissa tulee ilmi, että kiinnostusta rakentamiseen on ainakin jonkin verran.

Paljon kiinnostusta pohjavesialueille rakentamiseen on vastausten perusteella Kaakkois-Suomen, Keski-Suomen, Pirkanmaan, Uudenmaan, Hämeen, Etelä-Pohjanmaan sekä Varsinais-Suomen ELY-keskusten alueella. Useammassa vastauksessa nostetaan esille se, että kiinnostukseen vaikuttaa pohjavesialueen etäisyys taajamasta ja liikenneväylistä. Jos taajamat tai kuntakeskukset ovat alkujaan sijoittuneet pohjavesialueelle, rakentamista tai rakentamispainetta pohjavesialueilla on enemmän. Kainuun ja Etelä-Savon ELY-keskusten alueella on jonkin verran kiinnostusta pohjavesialueille rakentamiseen.

Otteita vastauksista:

”Kuntakeskusten asemakaavoitus kohdistuu jossain määrin pohjavesialueille varsinkin kunnissa, jotka sijoittuvat alkujaankin pohjavesialueelle (esim. Somero, Laitila)”

– Varsinais-Suomen ELY-keskus

”Niissä kunnissa, joiden taajamat ovat sijoittuneet pohjavesialueelle, on paljon rakentamista pohjavesialueelle.”

– Hämeen ELY-keskus

”Kyllä. Monet nykyiset taajamat sijoittuvat pohjavesialueille.”

– Hämeen ELY-keskus

”Suurin osa maaseutualueen taajamissa sijoittuu pohjavesialueille, joten rakentamispaine on kova.”

– Uudenmaan ELY-keskus

5.5 Rakentamiseen liittyvät riskit pohjavesialueella

Kyselyssä selvitettiin, millaisia riskialttiita toimenpiteitä pohjavesiasiantuntijat liittävät rakentamiseen pohjavesialueilla sekä millaisia seurauksia näillä riskeillä voi pohjaveden laatuun tai määrään heidän mielestään olla. Vastausten perusteella riskitekijöitä on hyvin monenlaisia, mutta alle on listattu ne riskitoiminnot, jotka nousivat vastauksissa useimmin esiin.

Vastausten perusteella rakentaminen ja muu toiminta pohjavedenpinnan alapuolella muodostaa riskin pohjavedelle, samoin esimerkiksi alikulkujen ja maanalaisten kerrosten rakentaminen. Pohjanvahvistustoimenpiteet ovat myös yksi vastauksissa esiin tullut riskitoiminto. Maa-ainesten otto vaikuttaa muodostuvan pohjaveden määrään ja laatuun. Kaivutyöt ja paalutustyöt paineellisen pohjaveden ja orsivesiesiintymien alueella aiheuttavat myös riskin pohjaveden määrälle ja laadulle.

Alla on kaksi laajasti rakentamisen riskitoimintoja esittelevää vastausta:

”Yleensä kaikki toiminnot, joissa joudutaan muokkaamaan maaperää. Paalutus, teiden rakentaminen, perustusten tekeminen, räjäytystyöt, vesihuoltoverkostojen rakentaminen.”

– Varsinais-Suomen ELY-keskus

”Tiestö (suuret tieleikkaukset ja syvät perustamisrakenteet) oheistoimintoineen (polttonesteen jakelun järjestäminen erityisesti), logistiikka-alueet (asfalttipinnalla katetaan laajoja osia pohjavesialueesta), energiakaivojen lisääntyminen (ei vielä riittävästi tietoa ja käytäntöjä turvallisen rakentamisen pohjaksi), maa-ainestenotto (poistaa pohjavesimuodostumaa). Ihan tavallinen omakotirakentaminenkin tuo riskejä mm. puutarhoissa ja homeen/sammaleen estossa käytettävät torjunta-aineet.”

– Suomen ympäristökeskus

Riskitoimintojen mahdollisia seurauksia tuli vastauksissa esille laajasti. Hyvälaatuisen muodostuvan pohjaveden määrää vähentävät laajojen alojen pinnoittaminen, hulevesien

johtaminen sekä pohjaveden pinnan alentaminen tai poispumppaus rakennustöiden aikana. Erityisesti pohjaveden laatuun liittyviä riskitekijöitä ovat viemäröinti ja jätevesien vuodot pohjavesialueilla, teollinen toiminta ilman riittäviä pohjavesisuojausjauksia, onnettomuudet rakennustyömaalla (kuten työkonoiden öljyvuodot) sekä kemikaalien käsittelyyn liittyvät riskit esimerkiksi teollisuusalueita rakennettaessa. Lisäksi liikenteeseen nähtiin liittyvän kahdenlaisia riskejä: liikenneonnettomuuksista aiheutuvat mahdolliset kemikaalivuodot pohjavesialueelle sekä tiealueella liukkaudenestoon käytetyn suolauksen vaikutukset pohjaveden laatuun.

Rakennusmateriaalit sekä stabilointiaineet saattavat heikentää pohjaveden laatua. Myös pintavesien pääsy pohjaveteen rakennustöiden seurauksena voi vaikuttaa huonontavasti pohjaveden laatuun. Vastauksissa nousi esiin myös se, että pohjaveden määrän muutokset voivat vaikuttaa pohjaveden laatuun.

Yleisesti vastausten perusteella voidaan todeta, että haitta-aineet nähdään suurena riskinä pohjaveden laadulle ja näin ollen haittana yhteiskunnan vedenhankinnalle.

Alla on kaksi vastausta, joissa kuvataan tarkemmin mahdollisia pohjaveden laadun ja määrän muutoksia rakentamisen seurauksena:

”Rakentamisen yhteydessä maaperään tai pohjaveteen pääsevät aineet (esim. koneista vuotavat, maaperään aiemmin vuotaneet tai maa-aineksesta irtoavat) voivat vaikuttaa suoraan veden laatuun. Paineellisen pohjaveden alueilla pohjaveden purkautumisesta aiheutuu riskiä pohjaveden määrällä ja voi vaikuttaa virtaussuuntiin ja sitä kautta esim. likaantuneen pohjaveden liikkumiseen. Rakentaminen ja muodostumisalueen päällystäminen voivat vaikuttaa esim. muodostuvan pohjaveden määrään ja veden happipitoisuuteen sekä sitä kautta pohjaveden laatuun.”

– Hämeen ELY-keskus

”Rakentaminen voi aiheuttaa pintavesien ja hulevesien pääsyn pohjaveteen siten, että alueella sijaitsevien vedenottamoiden tai kaivojen vedenlaatu muuttuu. Rakentamisen aiheuttamat vettä pidättävien maakerrosten rikkominen esim. paalutuksen tai ojituksen yhteydessä saattaa aiheuttaa pohjaveden purkautumista ja pohjavedenpinnan laskua ja määrän pienemistä. Huonosti tehty viemäröinti voi vuotaa jätevettä pohjaveteen ja saastuttaa alueen. Räjätystyöt saattavat aiheuttaa pohjaveden virtaussuuntien muuttumista ja pintaveden pääsyä suoraan pohjaveteen (lähinnä kuitenkin kallioalueilla).”

– Varsinais-Suomen ELY-keskus

5.6 Paalutukseen liittyvät riskit pohjavesialueella

Vastaajilta kysyttiin, millaisia haitallisia vaikutuksia heidän oman kokemuksensa mukaan erityisesti paalutuksella voi pohjaveden määrään ja tai laatuun olla. Kysymyksen pohjustukseksi lueteltiin InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmässä esitetyt paalutukseen mahdollisesti liittyvät häiriöt ja ympäristöhaitat: maakerrosten siirtyminen tai tiivistyminen, maakerrosten häiriintyminen, huokosvedenpainene kasvu, pohjavedenpinnan aleneminen, värinä, melu sekä maan, veden ja ilman saastuminen.

Vastauksia tuli yksitoista. Osalla vastaajista ei ole kokemusta joko paaluttamisesta tai paaluttamiseen liittyvistä haitallisista vaikutuksista. Useammassa vastauksessa nostetaan esille se, että harjualueilla sijaitsevilla pohjavesialueilla paaluttamisen tarve on vähäistä, koska sora ja hiekka ovat rakennuspohjana hyviä. Yleensä paalutusta tehdään hienorakeisten maalajien alueilla, joissa pohjaveden virtaus on hidasta ja vedenhankinnallinen merkitys vähäistä. Vastauksista käy kuitenkin ilmi, että esimerkiksi paineellisen pohjaveden esiintyminen hienorakeisten maalajien alueella tulee rakentamisessa ottaa huomioon.

Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen vastauksessa nostetaan esiin se, että vaikka paalutukseen liittyviä pohjavesivaikutuksia ei välttämättä ole tullut esille, ei niitä varsinaisesti seurata rakennushankkeiden yhteydessä:

”Harjualueille sijoittuvilla pohjavesialueilla paaluttamisen tarve on vähäistä. Suoraan paalutuksesta aiheutuvia pohjavesivaikutuksia ei ole tullut tietoon. Toisin niitä ei myöskään seurata rakennushankkeiden yhteydessä.”

– Kaakkois-Suomen ELY-keskus

Riskejä tunnistetaan myös InfraRYL-ohjeistuksessa olevien riskien lisäksi, kuten alla olevista vastauksista huomataan:

”Maakerrosten siirtyminen ja tiivistyminen, vedenottoon käytettävien maakerrosten häiriintyminen, haitallinen pohjaveden purkautuminen (riippuu paalutyypistä), pohjaveden pinnan aleneminen”

– Uudenmaan ELY-keskus

”Tilapäinen pohjaveden samentuminen. Eri pohjavesikerrosten ja erilaatuisten vesien sekoittuminen.”

– Hämeen ELY-keskus

”Pintavesien pääsy pohjavesikerrokseen paalureikien kautta.”

– Hämeen ELY-keskus

”Paineellisten kerrosten puhkaisu. Tiiviiden kerrosten puhkaisu. Haitta-ainepitoisia orsivesiä voi päästä varsinaiseen pohjavesivyöhykkeeseen. Pohjaveden purkautumista.”

– Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

”Paineellisen pohjaveden purkautumista. Pintaveden pääsyä pohjaveteen ja pohjaveden laadun muuttumista, esim. tiepaalutuksissa kloridipitoisuuden nousua.”

– Varsinais-Suomen ELY-keskus

Kysyttäessä vastaajien henkilökohtaista mielipidettä siitä, millaisia ajatuksia paalutus pohjavesialueella herättää ja kuinka riskialtista paalutus pohjavesialueella on, vastauksia tuli monenlaisia. Haitta-aineiden pääsy pohjaveteen paalutuksen seurauksena nousi esiin kahdeksassa vastauksessa yhdestätoista. Lisäksi paineellisten pohjavesikerrosten puhkeaminen paalutuksen takia nostettiin muutamassa vastauksessa esille.

Otteita vastauksista:

”Riskit liittyy pohjaveden haitalliseen purkautumiseen sekä haitta-aineiden kulkeutumiseen/sekoittumiseen (mikäli rakentaminen kohdistuu alueelle, mikä on jo pilaantunut muista toiminnoista).”

”Paalutus voi rikkoa vettä pidättäviä kerroksia, mikä voi johtaa heikkolaatuisen veden johtumista varsinaiseen pohjavesimuodostumaan. Paineellinen pohjavesi voi purkautua hallitsemattomasti tai orsivesimuodostuman vedenpinta voi aleneta haitallisella tavalla.”

”On mahdollista, että kerrosten, joiden välillä ei aiemmin ole ollut hydraulista yhteyttä, syntyy sellainen. Paineellisen pohjaveden tapauksessa mahdolliset kielteiset vaikutukset ovat akuutteja, muussa tapauksessa riskit liittyvät lähinnä siihen, että ylemmistä kerroksista kulkeutuu haitallisia aineita/epäpuhtauksia alempaan kerrokseen.”

Esille nostettiin myös se, miten pohjaveden virtausreittien muuttuminen voi laajemminkin vaikuttaa alueen ekologisiin oloihin:

”InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmän listauksen mukaan: maakerrosten siirtyminen tai tiivistyminen sekä häiriintyminen ja huokosveden paineen kasvu heikentävät pohjaveden virtausta ja muuttavat pohjaveden virtausreittejä, jolloin esimerkiksi lähteitä voi kuivua; tällä voi olla myös ekologisia vaikutuksia, pohjavedenpinnan aleneminen heikentää pohjaveden vedenhankinnallista saatavuutta, maan ja (pohja)veden saastuminen heikentävät pohjaveden laatua ja sitä kautta vedenhankintaan, ekologiaan jne.”

Kahdessa vastauksessa todetaan, että pohjavesialueilla tulisi paalutustöiden tekemistä välttää:

”Miksi yleensä hyvän rakennuspohjan omaavalle pohjavesialueelle pitäisi tehdä paalutuksia. Pohjavesialueille rakentamista tulisi yleensäkin välttää ja pyrkiä säilyttämään nämä maassamme pinta-alallisestikin harvinaiset (alle 4% Suomen maapinta-alasta) alueet mahdollisimman luonnontilaisina ja kasvipeitteisinä.”

”Lähtökohtaisesti ei paalutusta pohjavesialueella. Hyvillä ennakkoselvityksillä on mahdollista, jos todetaan, että ei aiheuta veden määrän tai laadun muutosta eikä pohjaveden pilaantumisen vaaraa.”

Osa vastaajista oli kuitenkin sitä mieltä, että hyvällä ennakkosuunnittelulla riskit ovat hallittavissa:

”Kyllä siihen riskejä liittyy, mutta ne on hallittavissa, jos asia otetaan pohjarakennussuunnittelussa vakavasti huomioon. Pohjaveden hallinta-suunnitelma pitäisi olla pakollinen paalutettaessa pohjavesialueella”

”Useimmiten paalutukseen liittyvät riskit lienevät hyvin hallittavissa. Alueilla, joilla epäillään tai tiedetään olevan useita pohjavesikerroksia, voimakkaasti paineellista pohjavettä tai pilaantuneita alueita tulee maaperä tutkimuksiin ja pohjavedet huomioon ottavaan suunnitteluun panostaa.”

”Riskejä on, mutta hyvällä suunnittelulla ja työnaikaisella valvonnalla riskejä voidaan vähentää.”

5.7 Pohjavesialueilla rakentamiseen liittyvän ohjeistuksen riittävyys

Kyselyn viimeisessä kysymyksessä kysyttiin, onko pohjavesialueille rakentamiseen liittyvä ohjeistus vastaajien mielestä riittävä. Lähes kaikista vastauksista käy ilmi, että näin ei ole. Useampikin vastaaja kaipaa joko lisätietoja aiheeseen liittyen tai tarkempaa ohjeistusta:

”Lisätieto ei ole koskaan pahitteeksi. Tarkkailu riittämätöntä, jolloin todellisia vaikutuksia on vaikea arvioida.”

”Lisää tutkimustietoa, sitä ei ole tarpeeksi.”

”En tunne ohjeistusta kovin hyvin. Tulisi kuitenkin tietää, millaisia vaikutuksia suunnitellulla rakentamisella on pohjaveden virtausmääriin ja -suuntiin. Työmenetelmien ”likaavuutta” tulisi myös pohtia maaperän ja pohjaveden näkökulmasta.”

”Ohjeistusta voisi olla enemmän.”

”Ei, yleis- ja asemakaavojen laadintaan liittyvien rakennettavuusselvitysten laadintaan pohjavesialueilla pitäisi ohje tasolla korostaa ja niiden laatimista tulisi ohjeistaa nykyistä tarkemmin. Kierrätysmateriaalien käyttö pohjarakentamisessa pohjavesialueella kaipaasi myös tutkimusta ja tarkentavaa ohjeistusta.”

Vastaajista osa kaipaa yhtenäisempää ohjeistusta:

”Tarkkaa tietoa rakentajille annettavasta ohjeistuksesta minulla ei ole, mutta epäilisin että alueellinen vaihtelu tässä on suurta. Pohjavesialueiden suojele suunnitelmissa olevia ohjeistuksia pidän riittävinä, mutta ehkä se tieto ei aina tavoita rakentajia. Hyvä, että vaikutuksia tutkitaan ja toivottavasti tutkimustulosten perusteella ohjeistuksia tarkennetaan, jos on tarvetta.”

”Kaikissa tapauksissa ei ole yhtenäistä linjausta. Toki tarkentavaa ohjeistusta tarvitaan.”

Kaksi vastaajaa nostaa esiin sen, että pohjavesialueille rakentamista tulisi ylipäättään välttää:

”Tärkeintä olisi huomioda alueiden käytön suunnittelussa, että pohjavesialueille rakentamista tulee ylipäättään välttää kts. edellä.”

”Pohjavesialueille rakentamista tulisi välttää aina, kun se on mahdollista. Riskiä ei voi suojauksilla tai varotoimilla kohtuuhintaisesti kokonaan poistaa. Rakentamisen aiheuttama riski on alueella niin kauan kuin rakennettu alue on käytössä, eikä sitä ole ennallistettu.”

Yksi vastaajista vastaa, että ei tunne ohjeistusta:

”En osaa vastata, sillä ympäristövalvonnassa asia tulee esiin yksittäisten hankkeiden suunnitelmien kautta eikä asiaa tarkastella ko. ohjeiden avulla.”

Kyselyn vastausten perusteella voidaan siis todeta, että tietoa rakentamisen ja paalutuksen vaikutuksista pohjaveden laatuun ja määrään tarvitaan lisää. Näin voidaan myös minimoida rakentamisen aiheuttamia riskejä pohjavesialueilla.

5.8 Yhteenveto kyselyn tuloksista

Kyselyn vastausten perusteella voidaan todeta, että kiinnostusta pohjavesialueille rakentamiseen on ympäri Suomea. Rakennuspainetta on etenkin niissä taajamissa, jotka alun perin ovat rakentuneet pohjavesialueille tai niiden läheisyyteen.

Pohjavesialueilla rakentamiseen liittyviä riskejä tunnistetaan laajasti. Useimmissa vastauksissa esiintyy huoli haitta-aineiden pääsystä pohjaveteen, erityisesti paalutuksen seurauksena. Esiin useammassa vastauksessa nousi se, että harjuille rakennettaessa rakennuspohja on yleensä niin hyvää, että paaluttamisen tarve on vähäistä. Riskit saattavatkin liittyä harjun liepeillä sijaitsevan paineellisen pohjavesiesiintymän puhkeamiseen paalutuksen seurauksena. Yksi vastaajista nostaa esiin sen, että suoraan paalutuksen aiheuttamia pohjavesivaikutuksia ei ole tullut esille, mutta toisaalta ei asiaa juuri seuratakaan.

Osa vastaajista on sitä mieltä, että pohjavesialueilla rakentamista tulisi välttää. Osa vastaajista on sitä mieltä, että riittäväillä varotoimenpiteillä, hyvällä suunnittelulla ja työnaikaisella valvonnalla riskit ovat hallittavissa. Ohjeistus koskien rakentamista pohjavesialueilla on lähes kaikkien vastaajien mielestä riittämätöntä ja tutkimusta aiheeseen liittyen tarvitaan lisää.

6. YHTEENVETO

Yhdyskunnan vedenotolle tärkeät pohjavesialueet sijaitsevat usein hyvin vettä johtavilla hiekka- ja soraharjuilla. Useat taajamat ovat rakentuneet harjuille ja niiden ympäristöön harjujen hyvän rakennuspohjan vuoksi. Yhdyskuntarakenteen tiivistymistavoitteet voivat olla ristiriidassa pohjaveden suojelun tavoitteiden kanssa. Selvityksen osana olevan kyselyn tuloksista selvisi, että kiinnostusta rakentamiseen pohjavesialueille on ympäri Suomea, erityisesti silloin kun taajamat sijaitsevat pohjavesialueella tai sen läheisyydessä. Ison-Britannian Environment Agency:n raportin mukaan tiivistysrakentamisen myötä Isossa-Britanniassa rakennetaan paljon jo käytössä olleille maa-alueille. Maa-alueen aiemmasta käytöstä riippuen voi maaperä sisältää haitta-aineita ja jos perustustapana käytetään paaluja, esille on noussut huoli haitta-aineiden pääsystä pohjaveteen paalutuksen seurauksena. Suomessakin on aikanaan rakennettu harjujen ympäristöön mm. kaatopaikkoja, huoltoasemia sekä teollisuusalueita.

Pohjavettä sijaitsee toki muuallakin kuin yhdyskunnan kannalta tärkeissä pohjavesiesiintymissä. Pohjaveden pilaamiskielto onkin voimassa kaikkialla, ei vain pohjavesialueella. Tietysti pohjaveden pilaantumisella pohjavesialueella on suuremmat seuraukset yhteiskunnan vedentuoton kannalta mutta pohjavedellä on merkitystä ympäristölle ja eri ekologisille systeemeille kaikkialla.

Tutkimuksia paalutuksen vaikutuksista pohjaveteen on rajallisesti. Tässä selvityksessä tarkasteltiin kolmen eri tutkimuksen tuloksia, joista kaksi painottuvat haitta-aineiden mahdolliseen kulkeutumiseen pohjaveteen paalutuksen seurauksena. Lisäksi apuna käytettiin Ison-Britannian EA:n ”*Piling and Penetrative Ground Improvement Methods on Land Affected by Contamination: Guidance on Pollution Prevention*”-raporttia, jossa kuvataan erilaisia riskejä liittyen paalutuksen mahdollisiin vaikutuksiin ja käsitellään riskien suuruutta.

Tässä selvityksessä tarkastelluissa tutkimuksissa on tutkittu paalutuksen vaikutuksia kerroksellisessa maaperässä, jossa ylin kerros on koetilanteissa ollut hiekkaa, keskimäisenä vettä pidättävä savikerros ja alimmaisena taas hyvin vettä johtava hiekkakerros. Tutkimuksissa selvitettiin yhteensä kolmea asiaa:

1. Voiko pilaantunutta maa-ainesta kulkeutua paalun päädyn alla merkittäviä määriä?
2. Voiko paalun mukana kulkeutuvasta karkeammasta maa-aineksesta muodostua virtausreitti vettä huonosti läpäisevän kerroksen läpi?

3. Voiko itse paalumateriaalin kautta kulkeutua haitta-aineita sisältävää vettä alas pohjavettä sisältävään kerrokseen?

Boutwell et al. (2000) tekemien laskelmien perusteella paalun tasaisen kärjen alla voi siirtyä tilavuudeltaan $0,15A^3$ verran maa-ainesta, kun A on paalun kärjen pinta-ala. Tällainen maa-aineksen siirtymismekanismi on haitta-aineiden siirtymisen kannalta merkityksetön. Poikkeuksena ovat tilanteet, jossa maaperässä on suuria haitta-ainepitoisuuksia tai esiintyvät haitta-aineet ovat pieninäkin pitoisuuksina haitallisia. Hird et al. (2006) toteavat tutkimustuloksissaan, että käytettäessä tasakärkisen paalun sijasta teräväkärkistä paalua, minimoidaan riski pilaantuneen maa-aineksen siirtymiseen pohjavettä sisältäviin kerroksiin paalun kärjen alla.

Boutwellin et al. (2000) tutkimuksissa käytettiin natriumkloridiliuosta simuloimaan haitta-aineita ja tämän suolaveden pitoisuuksia mitattiin alemmissa maakerroksissa paalutuksen jälkeen. Poikkileikkauksiltaan H-kirjaimen malliset paalut kuljettivat laippojen välissä karkeaa maa-ainesta savikerroksen läpi niin että saven läpi muodostui virtausreitti suolavedelle. Poikkileikkaukseltaan ympyrän muotoiset, umpinaiset paalut eivät muodostaneet tällaista virtausreittiä. Boutwell et al. eivät kuitenkaan tutkineet savikerroksen paksuuden ja paalun halkaisijan välisen yhteyden merkitystä virtausreitin synnylle.

Hird et al. (2006) tutkivat paalun asennuksesta johtuvia maakerrosten siirtymiä ja virtausreitin syntyä mittaamalla pystysuuntaisia siirtymiä ja muodonmuutoksia maakerroksissa paalun ympärillä sekä vettä huonosti johtavan maakerroksen, saven, vedenläpäisevyyden muutoksia. Heidän tutkimustulostensa mukaan umpinaisten, poikkileikkaukseltaan ympyrän ja neliön muotoisten paalujen asennuksen seurauksen ei muodostu virtausreittiä, jos paalun puhkaisema savikerros on paksumpi kuin kaksi kertaa käytetyn paalun halkaisija. Jos savikerros on ohuempi, pääsee ylemmän kerroksen karkearakeista materiaalia työntymään paalun mukana koko savikerroksen läpi ja virtausreitti muodostuu. Oikein asennettujen CFA-paalujen ympärille ei muodostunut virtausreittiä. H-paalujen asennuksen aikana virtausreitti muodostui vaikka savikerros oli kahdeksan kertaa paalun halkaisijan paksuinen.

Haymanin et al. (1993) ja Boutwellin et al. (2000) tutkimustulosten perusteella käsittelemätön puupaalu voi muodostaa reitin ylempien kerrosten haitta-aineiden kulkeutumiselle vettä huonosti johtavan kerroksen läpi alempiin maakerroksiin. Paalumateriaalina tällaisissa olosuhteissa kannattaa siis käyttää huonosti vettä läpäisevää materiaalia, kuten terästä. Muuten paalumateriaaleihin korroosiotuotteisiin liittyvät riskit ovat pieniä: korroosiotuotteet aiheuttavat todennäköisesti vain paikallisia pohjaveden laadun muutoksia ja toisaalta korroosiotuotteet itsessään eivät ole pieninä pitoisuuksina haitallisia.

ELY-keskusten ja Suomen ympäristökeskuksen pohjavesiasiantuntijoille tehdyn kyselytutkimuksen vastausten perusteella voidaan todeta, että Suomessa on kiinnostusta raken-

taa pohjavesialueilla. Pohjavesialueilla rakentamiseen ja paalutukseen liittyviä riskejä tunnistetaan paljon. Osassa vastauksista tulee ilmi se, että jos riskit tunnistetaan ja niihin osataan varautua, voidaan rakennus- ja paalutustöitä tehdä pohjavesialueella. Osa vastaajista on sitä mieltä, että pohjavesialueille rakentamista tulisi välttää. Pohjavesialueilla rakentamiseen liittyvä ohjeistus nähdään riittämättömänä ja tutkimustietoa esimerkiksi paalutuksen vaikutuksista pohjaveteen kaivataan lisää. Myös työnaikaiselle pohjaveden laadun ja määrän seurannalle nähdään tarvetta.

Kirjallisuusselvityksessä käytettyjen tutkimustulosten perusteella riskejä liittyen pohjaveden laadun ja määrän muutoksiin on, mutta riskien suuruudet ovat melko vähäisiä. Jos riskit tunnistetaan ja tiedostetaan jo suunnitteluvaiheessa sekä toteutuksessa, voidaan riskit saada hallintaan. Rakennettavan alueen maaperäolosuhteet tulee selvittää riittävillä pohjatutkimuksilla. Erityistä huomiota tulee kiinnittää paineellisen pohjaveden esiintymiin, jotta esiintymän yläpuolella oleva vettä pidättävä kerros ei hallitsemattomasti puhkea paalutuksen seurauksena. Sopivalla paalutyypin valinnalla voidaan riskejä pienentää.

Koska julkaistuja tutkimuksia koskien paalutuksen vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään on rajallisesti, lisätutkimukselle on tarvetta. Yksi kysymys koskee maaperässä olevien vanhojen paalujen poistoa tai väärin maahan asennettujen paalujen poistoa. Voiko maahan muodostua virtausreitti paalujen poistokohdalle? Toinen kysymys liittyy dynaamisesti kuormitettuihin rakenteisiin eli rakenteisiin, joihin kohdistuvat kuormat muuttuvat jatkuvasti. Jos paaluun kohdistuva kuormitus muuttuu jatkuvasti, säilyykö paalun vaippapinnan ja maan rakeiden välinen vetovoima kuormituksen aikana? Haitta-aineisiin liittyen tarvitaan tutkimustietoa siitä, miten haitta-aineiden laatu (esimerkiksi vesiliukoisuus, tiheys, kulkeutumismekanismit maaperässä ja vedessä) vaikuttaa mahdolliseen haitta-aineiden kulkeutumiseen pohjaveteen paalutuksen seurauksena. Tässä selvityksessä tarkastelluissa tutkimuksissa käytettiin haitta-aineina hydrofobisia vettä raskaampia, orgaanisia yhdisteitä (DNAPL-yhdisteet) sekä vesiliukoista natriumkloridiliuosta.

Kaupungistumisen ja yhdyskuntarakenteen tiivistymisen vuoksi paine rakentaa pohjavesialueilla tai niiden läheisyydessä kasvaa todennäköisesti edelleen. Hiekka- ja sora-alueilla paalutusta ei yleensä käytetä perustusmenetelmänä, mutta harjujen liepeillä on usein savikerroksia. Tietämättömyys paalutuksen mahdollisista vaikutuksista pohjaveden laatuun ja määrään voi johtaa liian suuriin varotoimenpiteisiin tai turhaan riskinottoon. Aiheesta tarvitaan sekä lisää tutkimustietoa että yhteneväistä ohjeistusta koskien rakentamista pohjavesialueella.

LÄHTEET

Boutwell, G., Mc. Manis, K., (2000) Deep Foundations on Brownfield Sites, Presented at the Prague October 2000, 5th Conference on Environmental Problems in Eastern Europe

ELY-keskus, (2016), Ely-keskukset, saatavissa (viitattu 4.8.2017): www.ely-keskus.fi/web/ely/ely-keskukset

Hird, C.C., Emmett K. B. & Davies G., (2006) Piling in layered ground: risks to groundwater and archaeology, The Environment Agency.

Haalahti, O., (2015) Pohjaveden sisältämien aineiden vaikutus teräsbetonirakenteiden suunnittelussa, Metropolia Ammattikorkeakoulu, insinöörityö, 61 s.

Haavisto-Hyvärinen M. & Kutvonen H., (2007) Maaperäkartan käyttöopas, Geologian tutkimuskeskus, saatavissa (viitattu 12.4.2017): http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf

Juvankoski, M. & Viitanen, H., (1989) Vanhojen puupaalujen kunnon ja kantokyvyn arviointi, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 142 s.

Jääskeläinen, R., (2009) Pohjarakennuksen perusteet, Tammertekniikka, 223 s.

Jääskeläinen, R., (2011) Geotekniikan perusteet, Tammertekniikka, 387 s.

Kinnunen, T. (toim.), (2005) Pohjavesitutkimusopas, Suomen vesiyhdistys ry, 194 s.

Korhonen, R. & Hietanen O., (2008) Maaperä, sisältyy: Korroosiokäsikirja, (2008) Kunnossapitoyhdistys ry, 4. painos, s. 317-322

Korkka-Niemi, K., Salonen, V-P., (1996) Maanalaiset vedet: pohjavesigeologian perusteet, Turun yliopisto., 181 s.

Kueber, B., Wealthall, G., Smith, J., Leharne, S. & Lerner D., (2003) An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface, Environment Agency

Kukko H., (2008) Betoni, sisältyy: Korroosiokäsikirja, (2008) Kunnossapitoyhdistys ry, 4. painos, s. 762-772

Kurkela, S., (2008) Luonnonvedet, sisältyy: Korroosiokäsikirja, (2008) Kunnossapitoyhdistys ry, 4. painos, s. 247-266

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä, (2004) L 30.12.2004/1299, saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>

Lemminkäinen, (2017) Pideva spiraalpuuriga vaiad, saatavissa (viitattu 1.5.2017): <http://www.lemminkainen.ee/taristu/geotehnilised-tood/pideva-spiraalpuuriga-vaiad/>

Leppänen, M., (1992) Teräspaalujen korroosio, Tampereen teknillinen korkeakoulu, diplomityö, 204 s. + liitteet 19 s.

Liikennevirasto, (2012) Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20, Ympäristö ja rautatiealueet, Liikenneviraston ohjeita 18/2012

Rantanen, E., Harju M., Norokorpi L. & Uusitalo, J., (2013) Vaara vaanii kaivannossa – tutkimushanke kaivantojen turvallisuudesta, Liikennevirasto 9/2013, saatavissa (viitattu 1.8.2017): http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-09_vaara_vaanii_web.pdf

LPO-2005, (2005) Lyöntipaalutusohje LPO-2005: teräsbetoni- ja puupaalut, Suomen rakennusinsinöörien liitto, Suomen geoteknillinen yhdistys, 134 s.

Molarius, R., (2005) Pohjaveden suojelusuunnitelmaa varten tehtävät tutkimukset, sisältyy: Suomen vesiyhdistys ry, (2005) Pohjavesitutkimusopas, s. 38-39

Molarius, R., (1993) Pohjaveden talouskäyttöä uhkaavien riskitekijöiden kartoitus Ylöjärvellä, Tampereen tekninen yliopisto, diplomityö, 147 s.

Mälkki, E., (1999) Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö, Kustannusosakeyhtiö Tammi, 304 s.

Niini, H., Uusinoka, J. & Niinimäki, R. (toim.), (2007) Geologia ympäristötoiminnassa, Rakennusgeologinen yhdistys, 354 s.

Paalut, (2017) Betoniteollisuus ry, saatavissa (viitattu 2.6.2017): <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/perustukset-ja-vaestonsuojat/paalut>

PO-2011, (2011) PO-2011 : Osa 1: Suunnittelun perusteet, Osa 2: Paalutusohje, Suomen Rakennusinsinöörien liitto, 261 s.

Pearson Drilling Inc, (2017) Round, Wide Flange, and H-Piles Overview, saatavissa (viitattu 1.5.2017): <http://pearsondrillinginc.com/pile-driving/driven-piles/round-wide-flange-h-piles/>

Tampereen kaupunki (2014) Rakennusjärjestys, saatavissa: <http://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakennusvalvonta/lait-ja-ohjeet/rakennusjarjestys.html>

Rantamäki, M., Jääskeläinen R. & Tammirinne, M., (2008) Geotekniikka, Otatieto Oy, 307 s.

Salonen, V-P., Eronen, M. & Saarnisto, M., (2002) Käytännön maaperägeologia, Kirja-Aurora, 237 s.

Saudi Foundations, (2011) Driven Piles, saatavissa (viitattu 1.5.2017): <http://www.saudifoundations.com/driven.html>

Stieglitz T. C., Rapaglia J. & Krupa S. C., (2007) An Effect of Pier Pilings on Nearshore Submarine Groundwater Discharge from a (Partially) Confined Aquifer, Estuarine Research Federation, Vol 30, No 3, pp. 543-550

SYKE, (2017) Pohjavesialueet, Suomen ympäristökeskus, saatavissa (viitattu 13.4.2017): [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet\(26765\)\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet(26765)))

SYKE, (2016) Pohjavesien määrällinen ja kemiallinen tila, Suomen ympäristökeskus, saatavissa (viitattu 11.4.2017): http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien_tila

Teräspuutkipaalut, (2017) HTM Yhtiöt Oy, saatavissa (viitattu 2.6.2017): <http://htmyhtiöt.fi/paalut/terasputkipaalut>

Tiehallinto, (1999) Teräspuutkipaalut, Tiehallinto (siltayksikkö), saatavissa (viitattu 1.8.2017): <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf>

Tomlinson, D., Thornton, S., Thomas A., Leharne, S. & Wealthall, G., (2014), An Illustrated Handbook of LNAPL Transport and Fate in the Subsurface, Environment Agency

Vanha vesilaki, (1961) L 19.5.1961/264, saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/kumotut/1961/19610264>

Vesilaki, (2011) L 27.5.2011/587, saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>

Vesilaitosyhdistys, (2017) Talousvesi, saatavissa (viitattu 15.4.2017): https://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/talousvesi

Vienonen, S., Rintala, J., Orvomaa, M., Santala, E. & Maunula, M., (2012). Ilmastomuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa, Suomen ympäristö 24/2012, Saatavissa (viitattu 7.4.2017): <http://hdl.handle.net/10138/38739>

Westcott F. J., Lean, C. M. B. & Cunningham M. L., (2001) Piling and Penetrative Ground Improvement Methods on Land Affected by Contamination: Guidance on Pol-

lution Prevention, National Groundwater & Contaminated Land Centre report NC/99/73, Environment Agency

Westcott, F. J., Smith, J. W. N. & Lean C. M. B., (2003) Piling in contaminated ground: environmental impacts, regulatory concerns and effective solutions, *Engineering Geology* 70 (2003), pp. 259–268

Yläsaari, S., (2008) Korroosio ja korroosionesto, sisältyy: Korroosiokäsikirja, (2008) Kunnossapitoyhdistys ry, 4. painos, s. 17-24

Ympäristöministeriö, (2013) Riskialttiiden pohjavesialueiden määrä on kasvanut selvästi, Ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö & sosiaali- ja terveysministeriö, tiedote, saatavissa (viitattu 13.4.2017): [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Riskialttiiden_pohjavesialueiden_maara_k\(16833\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Riskialttiiden_pohjavesialueiden_maara_k(16833))

YSL, (2014) L 27.6.2014/527. Ympäristönsuojelulaki, saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

Öhberg, P. & Molarius, R., (2005), Pohjavesialueen suojelusuunnitelma, sisältyy: Suomen vesiyhdistys ry, (2005) Pohjavesitutkimusopas, s. 37-38

LIITE A

Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskusten sekä Suomen ympäristökeskuksen pohjavesiasiantuntijoille tehdyn kyselyn tulokset. Kysely tehtiin SurveyMonkey®-internetkyselyllä.

K1: Missä työskentelette?

Vastausvaihtoehdot	Vastaukset	
▼ Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus	8,33%	1
▼ Etelä-Savon ELY-keskus	8,33%	1
▼ Hämeen ELY-keskus	16,67%	2
▼ Kaakkois-Suomen ELY-keskus	8,33%	1
▼ Kainuun ELY-keskus	8,33%	1
▼ Keski-Suomen ELY-keskus	8,33%	1
▼ Lapin ELY-keskus	0,00%	0
▼ Pirkanmaan ELY-keskus	8,33%	1
▼ Pohjanmaan ELY-keskus	0,00%	0
▼ Pohjois-Karjalan ELY-keskus	0,00%	0
▼ Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus	0,00%	0
▼ Pohjois-Savon ELY-keskus	0,00%	0
▼ Satakunnan ELY-keskus	0,00%	0
▼ Uudenmaan ELY-keskus	8,33%	1
▼ Varsinais-Suomen ELY-keskus	8,33%	1
▼ Suomen ympäristökeskus	16,67%	2
▼ Muu (täsmennä)	Vastaukset 0,00%	0
Yhteensä	12	

K2: Kuinka usein teette työssänne lausuntoja tai selvityksiä liittyen rakentamiseen pohjavesialueella?

Vastausvaihtoehdot	Vastaukset	
Teen päivittäin.	0,00%	0
Teen usein.	33,33%	4
Teen harvoin.	41,67%	5
En tee koskaan.	8,33%	1
Ei kuulu työtehtäviini.	0,00%	0
Muu (täsmennä)	Vastaukset 16,67%	2
Yhteensä		12

Muut vastaukset:

“Teen usein pohjavesialueisiin liittyviä töitä, mutten rakentamista koskevia lausuntoja.” – Kaakkois-Suomen ELY-keskus

“Melko usein. Lausun mm. kaavoitukseen liittyen pohjaveden suojelusta.” – Kainuun ELY-keskus

K3: Vastuualueellani on...

Vastausvaihtoehdot	Vastaukset	
...laajoja, tärkeitä pohjavesialueita.	83,33%	10
...pieniä, tärkeitä pohjavesialueita.	50,00%	6
...useita pohjavesialueita, joilla on vähäistä käyttöä.	50,00%	6
Vastuualueellani ei juurikaan ole pohjavesialueita.	0,00%	0
En osaa sanoa.	0,00%	0
Muu (täsmennä)	Vastaukset 16,67%	2
Vastaajat yhteensä: 12		

“Ei ole vastuista (viranomaistehtäviä).” – Suomen ympäristökeskus

“Vastuualueeni tehtävät koskevat sekä laajoja että pieniä pohjavesialueita ja pohjaveden suojelua kokonaisuutena. Tehtäväkenttänä koko Suomi.” – Suomen ympäristökeskus

K4: Onko alueellanne erityisen haavoittuvia pohjavesiesiintymiä? Jos niitä on, ovatko pohjavesiesiintymät haavoittuvia siksi, että niille on sijoittunut paljon riskitoimintoja vai johtuuko haavoittuvuus lähinnä geologisista syistä?

“On haavoittuvia pohjavesiesiintymiä. Pohjavesialueille on keskittynyt paljon ihmistoimintaa ja riskitoimintaa.” – Kaakkois-Suomen ELY-keskus

”Haavoittuvuus liittyy siihen, että pohjavesialueella on taajama-alue, tie, pilaantunut maa-alue, polttonesteen jakeluasema tai muu riskitoiminto. Erityisen haavoittuvat pohjavesialueet sijaitsevat taajama-alueella.” – Kainuun ELY-keskus

”Molemmat tekijät vaikuttavat. Pohjavesialueet ovat aina erityisen haavoittuvia ja hyvän rakennuspohjan omaavina niille on jo vanhastaan sijoittunut paljon ihmistoimintaa riskitoiminnot mukaan lukien.” – Suomen ympäristökeskus

”Oletan, että pohjavesiesiintymä = pohjavesialue. Tällöin voidaan todeta, että pohjavesialueet ovat haavoittuvia sekä sen takia, että niillä on paljon pohjavettä uhkaavia tai vaarantavia toimintoja että sen takia, että niiden geologia mahdollistaa tällaisen haavoittuvuuden. Jälkimmäisessä esimerkiksi pohjavettä suojaavat maaperäkerrokset saattavat olla ohuita, tai vaikka olisivatkin paksuja, ne ovat hyvin vettä johtavia ja sen vuoksi vaarantuvia.” – Keski-Suomen ELY-keskus

”Kyllä on. Paljon riskitoimintoja.” – Pirkanmaan ELY-keskus

”Alueille sijoittuu paljon riskitoimintoja.” – Etelä-Savon ELY-keskus

”On, molemmista syistä” – Uudenmaan ELY-keskus

”Kyllä. Alueella on useita ovat erityisen haavoittuvia pohjavesialueita. Haavoittuvuus johtuu sekä riskitoiminnoista, että geologiasta - joissain tapauksissa molemmista. Pohjavesialueilla on usein eritavalla haavoittuvia osa-alueita.” – Hämeen ELY-keskus

”Erityisen haavoittuvia pohjavesiesiintymiä on ja haavoittuvia ne ovat siksi, kun niille on sijoittunut paljon riskitoimintoja.” – Hämeen ELY-keskus

”Riskitoimintoja ja vedenottoa lähekkäin. Paineellisia pohjavesivyyhyhykkeitä.” – Etelä-pohjanmaan ELY-keskus

”Toiminta-alueemme pohjavesialueista useat sijaitsevat lähellä asutusta tai niiden läpi menee maanteitä.” – Varsinais-Suomen ELY-keskus

5. Onko mielestänne alueellanne paljon kiinnostusta pohjavesialueille rakentamiseen?

”Kyllä.” – Kaakkois-Suomen ELY-keskus

”Jonkin verran.” – Kainuun ELY-keskus

”Kyllä on.” – Suomen ympäristökeskus

”Kyllä. Tähän tietysti vaikuttaa pohjavesialueen etäisyys taajamasta ja/tai liikenneväylistä.” – Keski-Suomen ELY-keskus

"Kyllä on." – Pirkanmaan ELY-keskus

"Ainakin jonkin verran." – Etelä-Savon ELY-keskus

*"Suurin osa maaseutualueen taajamissa sijoittuu pohjavesialueille, joten rakentamis-
paine on kova."* – Uudenmaan ELY-keskus

"Kyllä. Monet nykyiset taajamat sijoittuvat pohjavesialueille." – Hämeen ELY-keskus

*"Niissä kunnissa, joiden taajamat ovat sijoittuneet pohjavesialueelle, on paljon raken-
tamista pohjavesialueelle."* – Hämeen ELY-keskus

"Kyllä." – Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

*"Kuntakeskusten asemakaavoitus kohdistuu jossain määrin pohjavesialueille varsinkin
kunnissa, jotka sijoittuvat alkujaankin pohjavesialueelle (esim. Somero, Laitila)"* – Var-
sinais-Suomen ELY-keskus

6. Mitkä rakentamiseen liittyvät toiminnot aiheuttavat mielestänne eniten riskejä pohjavesialueille?

*"Teollisuusalueiden rakentuminen pohjavesialueille tuo kemikaalien käsittelyn myötä
riskejä. Laajojen alojen pinnoittaminen ja hulevesien johtaminen voi vähentää muodos-
tuvan pohjaveden määrää. Pohjavedenpinnan alapuolelle rakentaminen ja pohjaveden
pinnan aleneminen."* – Kaakkois-Suomen ELY-keskus

*"Teollisuusalueet, jakeluasemat, viemäröinti/jäteveden käsittely ja tienpito (onnetto-
muusriski sekä tiesuolaus)"* – Kainuun ELY-keskus

*"Tiestö (suuret tieleikkaukset ja syvät perustamisrakenteet) oheistoimintoineen (poltto-
nesteiden jakelun järjestäminen erityisesti), logistiikka-alueet (asfalttipinnalla katetaan
laajoja osia pohjavesialueesta), energiakaivojen lisääntyminen (ei vielä riittävästi tie-
toa ja käytäntöjä turvallisen rakentamisen pohjaksi), maa-ainestenotto (poistaa pohja-
vesimuodostumaa). Ihan tavallinen omakotirakentaminenkin tuo riskejä mm. puutar-
hoissa ja homeen/sammaleen estossa käytettävät torjunta-aineet."* – Suomen ympäris-
tökeskus

*"Oletan, että rakentamisen lopputulosta - esimerkiksi jakeluasema - ei tässä tarkastella.
Tällöin eniten uhkaa tai vaaraa aiheuttavat pohjavedenpinnanalainen kaivu ja pohjave-
den poispumppaus rakentamisen vuoksi. Edellinen on pääasiassa pohjaveden laatuun
vaikuttava tekijä, jälkimmäinen pääasiassa pohjaveden määrään vaikuttava tekijä. Mo-
lemmat voivat vaikuttaa pohjaveteen myös laadullisesti että määrällisesti. Myös työko-
neille ja -laitteille rakennusalueella sattuvat onnettomuudet - tulipalot, vuodot - voivat
vaarantaa pohjaveden laatua. Samoin rakennusalueilla tehtävät räjäytykset."* – Keski-
Suomen ELY-keskus

”Kaivu ja paalutus paineellisen ja orsivesi -pohjaveden alueella. Maanpinnan runsas kattaminen.” – Pirkanmaan ELY-keskus

”Yleisesti toiminnot, joissa toimitaan maanpinnan ja erityisesti pohjavedenpinnan alapuolella.” – Etelä-Savon ELY-keskus

”Alikulut, pohjanvahvistustoimenpiteet, maanalaiseen kerrosten rakentaminen” – Uudenmaan ELY-keskus

”Pohjaveden pinnan lähelle tai sen alapuolelle ulottuvat rakenteet ja kaivannot sekä laajat päälyllistetyt alueet aiheuttanevat eniten riskiä. Myös kaikki teollisuuteen ja yritystoimintoihin liittyvä rakentaminen tuo usein uusia riskejä pohjavesialueille.” – Hämeen ELY-keskus

”- Maankaivutyöt paineellisen pohjaveden alueella - Öljyjen ym. kemikaalien huolimaton käsittely” – Hämeen ELY-keskus

”Teollinen toiminta ilman riittäviä pohjavesisuojausja. Kalliolämpö yksittäisissä tapauksissa.” – Etelä-pohjanmaan ELY-keskus

”Yleensä kaikki toiminnot, joissa joudutaan muokkaamaan maaperää. Paalutus, teiden rakentaminen, perustusten tekeminen, räjäytystyöt, vesihuoltoverkostojen rakentaminen.” – Varsinais-Suomen ELY-keskus

7. Millaisia vaikutuksia rakentamiseen liittyvillä riskitoiminnoilla voi mielestänne pohjaveden laatuun ja/tai määrään olla?

”Pohjaveden pinnan pysyvä aleneminen haitallisen pohjaveden purkautumisen myötä tai hulevesien johtamisjärjestelyjen myötä. Pohjaveden laadun heikentyminen aiheuttaa haittaa vedenhankinnalle.” – Kaakkois-Suomen ELY-keskus

”Onnettomuusriski kasvaa, viemärit voivat rikkoontua, haja-asutusalueen jätevesien käsittely voi aiheuttaa kuormitusta, mahdollinen tienpito voi lisätä klordipäästöjä ja lisätä onnettomuusriskiä. Maanpinnan peittäminen ja tiivistäminen vähentää hyvälaatuisen pohjaveden muodostumista. Rakentamisen aikana voi sattua öljyvuotoksia. Rakennuksien lämmitysjärjestelmät voivat lisätä riskejä, mikäli lämmitysmuotona on öljylämmitys tai maalämpökaivo. Rakennusmateriaalien riskejä ei ole tutkittu tarpeeksi, esimerkiksi ei ole tiedossa voiko rakennusmateriaaleista päätyä kemikaaleja maaperään ja sitä kautta pohjaveteen.” – Kainuun ELY-keskus

”Alueiden kattaminen vähentää imeytyvän pohjaveden määrää. Muut riskit liittyvät haitta-aineiden riskeihin, joihin löydät varmasti vastauksia alan lähdekirjallisuudesta.” – Suomen ympäristökeskus

”Ks. yllä ja alla.” – Keski-Suomen ELY-keskus

”Pohjaveden haitallinen purkautuminen, pilaavien aineiden joutuminen pohjaveteen.”
– Pirkanmaan ELY-keskus

”Lika-aineet voivat kulkeutua pohjaveteen. Vesi voi samentua. Laaja rakentaminen ja sadevesin johtaminen pohjavesialueen ulkopuolelle voi vähentää muodostuvan pohjaveden määrää.” – Etelä-Savon ELY-keskus

”Pohjavedenpinnan haitallinen aleneminen, hallitsemattoman pohjavesipurkautumat, stabilointiaineiden aiheuttamat laatu muutokset, työ maiden öljy- ja kemikaalivahingot”
– Uudenmaan ELY-keskus

”Rakentamisen yhteydessä maaperään tai pohjaveteen pääsevät aineet (esim. koneista vuotavat, maaperään aiemmin vuotaneet tai maa-aineksesta irtoavat) voivat vaikuttaa suoraan veden laatuun. Paineellisen pohjaveden alueilla pohjaveden purkautumisesta aiheutuu riskiä pohjaveden määrällä ja voi vaikuttaa virtaussuuntiin ja sitä kautta esim. likaantuneen pohjaveden liikkumiseen. Rakentaminen ja muodostumisalueen päällystämisen voivat vaikuttaa esim. muodostuvan pohjaveden määrään ja veden happipitoisuuteen sekä sitä kautta pohjaveden laatuun.” – Hämeen ELY-keskus

”- Hallitsematon pohjaveden purkautuminen - Haitta-aineiden ja pintavesien pääsy pohjaveteen” – Hämeen ELY-keskus

”Veden laatu muuttuu, määrä muuttuu. Rakentaminen voi puhkaista paineellisia vyöhykkeitä. Syvät perustukset ja niiden kuivatus.” – Etelä-pohjanmaan ELY-keskus

”Rakentaminen voi aiheuttaa pintavesien ja hulevesien pääsyn pohjaveteen siten, että alueella sijaitsevien vedenottamoiden tai kaivojen vedenlaatu muuttuu. Rakentamisen aiheuttamat vettä pidättävien maakerrosten rikkominen esim. paalutuksen tai ojituksen yhteydessä saattaa aiheuttaa pohjaveden purkautumista ja pohjavedenpinnan laskua ja määrän pienemistä. Huonosti tehty viemäröinti voi vuotaa jätevettä pohjaveteen ja saastuttaa alueen. Räjäytystyöt saattavat aiheuttaa pohjaveden virtaussuuntien muuttumista ja pintaveden pääsyä suoraan pohjaveteen (lähinnä kuitenkin kallioalueilla).” – Varsinais-Suomen ELY-keskus

8. InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmässä listataan paalutuksen aiheuttamiksi häiriöiksi tai ympäristöhaitoiksi seuraavat asiat: maakerrosten siirtyminen tai tiivistyminen, maakerrosten häiriintyminen, huokosvedenpainene kasvu, pohjavedenpinnan aleneminen, tärinä, melu sekä maan, veden ja ilman saastuminen. Millaisia haitallisia vaikutuksia oman kokemuksenne mukaan erityisesti paalutuksella voi pohjaveden määrään ja/tai laatuun olla?

”Harjuaalueille sijoituvilla pohjavesialueilla paaluttamisen tarve on vähäistä. Suoraan paalutuksesta aiheutuvia pohjavesivaikutuksia ei ole tullut tietoon. Tosin niitä ei myöskään seurata rakennushankkeiden yhteydessä.” – Kaakkois-Suomen ELY-keskus

”Ei ole kokemusta paaluttamisesta.” – Kainuun ELY-keskus

”Tarkastelen yleensä pohjavesialueita ja niille tehdään harvoin paalutuksia. Infran mainitsemat riskit ovat todennäköisimpiä. (Lisätieto sähköpostilla: Tuli nyt myöhemmin mieleen, että hienorakeisten maalajien alueilla toki on myös niiden alla olevia pohjavesimuodostumia, jotka rajattu pohjavesialuerajalla. Osassa näitä muodostumia esiintyy myös paineellista pohjavettä, joka on rakentamisen kannalta erityishuomiota vaativa tekijä.)” – Suomen ympäristökeskus

”Minulla ei ole kokemusta paalutuksen aiheuttamasta pohjaveden vaarantumisesta. Paalutushan yleensä tehdään rakennusalueilla, joissa pohjaveden virtaus on hidasta ja vedenhankinnallinen merkitys vähäistä. Harvemmin siis pohjavesialueilla, ainakaan hyvin vettäjohtavilla osioilla.” – Keski-Suomen ELY-keskus

”Ei omaa kokemusta toteutuneesta ongelmasta.” – Pirkanmaan ELY-keskus

”Ei ole oikein kokemusta paalutuksesta pohjavesialueilla.” – Etelä-Savon ELY-keskus

”Maakerrosten siirtyminen ja tiivistyminen, vedenottoon käytettävien maakerrosten häiriintyminen, haitallinen pohjaveden purkautuminen (riippuu paalutyypistä), pohjaveden pinnan aleneminen” – Uudenmaan ELY-keskus

”Tilapäinen pohjaveden samentuminen. Eri pohjavesikerrosten ja erilaatuisten vesien sekoittuminen.” – Hämeen ELY-keskus

”Pintavesien pääsy pohjavesikerrokseen paalureikien kautta.” – Hämeen ELY-keskus

”Paineellisten kerrosten puhkaisu. Tiiviiden kerrosten puhkaisu. Haitta-ainepitoisia orivesiä voi päästä varsinaiseen pohjavesivyöhykkeeseen. Pohjaveden purkautumista.” – Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

”Paineellisen pohjaveden purkautumista. Pintaveden pääsyä pohjaveteen ja pohjaveden laadun muuttumista, esim. tiepaalutuksissa kloridipitoisuuden nousua.” – Varsinais-Suomen ELY-keskus

9. Millaisia ajatuksia teissä herättää ajatus paalutuksesta pohjavesialueella? Liittyykö siihen esimerkiksi paljon riskejä liittyen pohjaveden laadun ja/tai määrän muutoksiin?

”On mahdollista, että kerrosten, joiden välillä ei aiemmin ole ollut hydraulista yhteyttä, syntyy sellainen. Paineellisen pohjaveden tapauksessa mahdolliset kielteiset vaikutukset ovat akuutteja, muussa tapauksessa riskit liittyvät lähinnä siihen, että ylemmistä kerroksista kulkeutuu haitallisia aineita/epäpuhtauksia alempaan kerrokseen. No, tämä ei lie ne uutinen, paalutuksen riskit lienee jo tunnistettu kun niistä tässä kysytään.”

”Riskit liittyy pohjaveden haitalliseen purkautumiseen sekä haitta-aineiden kulkeutumiseen/sekoittumiseen (mikäli rakentaminen kohdistuu alueelle, mikä on jo pilaantunut muista toiminnoista).”

”Ei ole tarpeeksi tietoa aiheesta.”

”Miksi yleensä hyvän rakennuspohjan omaavalle pohjavesialueelle pitäisi tehdä paalutuksia. Pohjavesialueille rakentamista tulisi yleensäkin välttää ja pyrkiä säilyttämään nämä maassamme pinta-alallisestikin harvinaiset (alle 4% Suomen maapinta-alasta) alueet mahdollisimman luonnontilaisina ja kasvipeitteisinä.”

”InfraRYL-laatuvaatimusjärjestelmän listauksen mukaan: maakerrosten siirtyminen tai tiivistyminen sekä häiriintyminen ja huokosveden paineen kasvu heikentävät pohjaveden virtausta ja muuttavat pohjaveden virtausreitit, jolloin esimerkiksi lähteitä voi kuivua; tällä voi olla myös ekologistia vaikutuksia, pohjavedenpinnan aleneminen heikentää pohjaveden vedenhankinnallista saatavuutta, maan ja (pohja)veden saastuminen heikentävät pohjaveden laatua ja sitä kautta vedenhankintaan, ekologiaan jne.”

”Paalutus voi rikkoa vettä pidättäviä kerroksia, mikä voi johtaa heikkolaatuisen veden johtumista varsinaiseen pohjavesimuodostumaan. Paineellinen pohjavesi voi purkautua hallitsemattomasti tai orsivesimuodostuman vedenpinta voi alentua haitallisella tavalla.”

”Paalutuksen yhteydessä voi maaperässä olevat mahdolliset lika-aineet päästä pohjaveteen.”

”Kyllä siihen riskejä liittyy, mutta ne on hallittavissa, jos asia otetaan pohjarakennussuunnittelussa vakavasti huomioon. Pohjaveden hallinta-suunnitelma pitäisi olla pakollinen paalutettaessa pohjavesialueella”

”Useimmiten paalutukseen liittyvät riskit lienevät hyvin hallittavissa. Alueilla, joilla epäillään tai tiedetään olevan useita pohjavesikerroksia, voimakkaasti paineellista pohjavettä tai pilaantuneita alueita tulee maaperä tutkimuksiin ja pohjavedet huomioon otamaan suunnitteluun panostaa.”

”Riskejä on, mutta hyvällä suunnittelulla ja työnaikaisella valvonnalla riskejä voidaan vähentää.”

”Lähtökohtaisesti ei paalutusta pohjavesialueella. Hyvillä ennakkoselvityksillä on mahdollista, jos todetaan, että ei aiheuta veden määrän tai laadun muutosta eikä pohjaveden pilaantumisen vaaraa.”

”Katso edellä. Riskejä on aina olemassa.”

K10. Onko mielestänne pohjavesialueille rakentamiseen liittyvä ohjeistus riittävä nykyisellään vai kaipaisitteko siihen jonkinlaista muutosta?

"Lisätieto ei ole koskaan pahitteeksi. Tarkkailu riittämätöntä, jolloin todellisia vaikutuksia on vaikea arvioida."

"Lisää tutkimustietoa, sitä ei ole tarpeeksi."

"Tärkeintä olisi huomioida alueiden käytön suunnittelussa, että pohjavesialueille rakentamista tulee ylipäättään välttää kts. edellä."

"En tunne ohjeistusta kovin hyvin. Tulisi kuitenkin tietää, millaisia vaikutuksia suunnitellulla rakentamisella on pohjaveden virtausmääriin ja -suuntiin. Työmenetelmien "liikaavuutta" tulisi myös pohtia maaperän ja pohjaveden näkökulmasta."

"En osaa vastata, sillä ympäristövalvonnassa asia tulee esiin yksittäisten hankkeiden suunnitelmien kautta eikä asiaa tarkastella ko. ohjeiden avulla."

"Ohjeistusta voisi olla enemmän."

"Ei, yleis- ja asemakaavojen laadintaan liittyvien rakennettavuusselvitysten laadintaan pohjavesialueilla pitäisi ohje tasolla korostaa ja niiden laatimista tulisi ohjeistaa nykyistä tarkemmin. Kierrätysmateriaalien käyttö pohjarakentamisessa pohjavesialueella kaipaisi myös tutkimusta ja tarkentavaa ohjeistusta."

"Tarkkaa tietoa rakentajille annettavasta ohjeistuksesta minulla ei ole, mutta epäilisin että alueellinen vaihtelu tässä on suurta. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmissa olevia ohjeistuksia pidän riittävinä, mutta ehkä se tieto ei aina tavoita rakentajia. Hyvä, että vaikutuksia tutkitaan ja toivottavasti tutkimustulosten perusteella ohjeistuksia tarkennetaan, jos on tarvetta."

"Kaikissa tapauksissa ei ole yhtenäistä linjausta. Toki tarkentavaa ohjeistusta tarvitaan."

"Pohjavesialueille rakentamista tulisi välttää aina, kun se on mahdollista. Riskiä ei voi suojauksilla tai varotoimilla kohtuuhintaisesti kokonaan poistaa. Rakentamisen aiheuttama riski on alueella niin kauan kuin rakennettu alue on käytössä, eikä sitä ole ennallistettu."